

1-1-1994

Efectos de la luz artificial en los seres humanos

Vianey Erlenci Guecha Mariño
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica

Citación recomendada

Guecha Mariño, V. E. (1994). Efectos de la luz artificial en los seres humanos. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/306

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Eléctrica by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

T
4291
124-
115

EFFECTOS DE LA LUZ ARTIFICIAL EN LOS SERES HUMANOS

VIANEY ERLENCI GUECHA MARÍÑO

SANTAFE DE BOGOTA D.C.

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

1994



EFFECTOS DE LA LUZ ARTIFICIAL EN LOS SERES HUMANOS

VIANEY ERLINCI GUECHA MARÍÑO

Trabajo de grado presentado como requisito
parcial para optar al título de Ingeniero
Electricista.

Director:

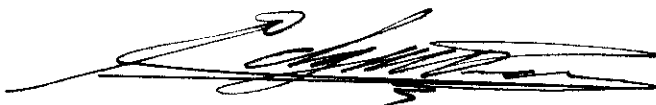
Ing. EDGAR A. PRADA.

SANTAFE DE BOGOTA D.C.

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

1994

Nota de Aceptación.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Jurado', written over a horizontal line.

JURADO

JURADO

JURADO

SANTAFE DE BOGOTA D.C. 25 de octubre de 1994

DEDICATORIA

A mis padres, hermanos, familiares y
amigos que hicieron posible este logro.

VIANEY.

AGRADECIMIENTOS

- A Ing. EDGAR A. PRADA, Jefe del Departamento Técnico de SCHREDER.
- A Ing. RAFAEL ZAMBRANO, Jefe del Departamento de Ventas de SILVANIA.
- A Dr. SAULO H. ALVAREZ, Optómetra Particular.
- A Dr. JOSE MARIA ORTEGA, Médico Cirujano de ECOPETROL.
- A Dr. ELIANA KRONFLY KRONFLY, Psicóloga Particular.
- A Ing. BEATRIZ MARTINEZ, AEROCIVIL.
- A Tec. JOSE MANUEL ROMERO P, División Investigación ITEC.
- A LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE.

A todas aquellas personas que en una u otra forma colaboraron en la realización del presente proyecto.

INDICE

0. INTRODUCCION	9
1. NATURALEZA DE LA LUZ	12
1.1 CONCEPTOS GENERALES	12
1.2 QUE ES LA LUZ?	12
1.2.1 Teoría Corpuscular	13
1.2.2 Teoría Ondulatoria	14
1.2.3 Propagación de la Luz.	18
1.2.4 Espectro Electromagnético	20
1.2.5 Teoría Cuántica.	26
1.2.6 En Síntesis. Qué es la Luz?	27
2. OPTICA FISIOLOGICA, PERCEPCION LUMINICA Y COLOR.	29
2.1 GENERALIDADES.	29
2.2 CONSTITUCION DEL OJO	29

2.3 EL COLOR	35
2.3.1 El Arco Iris	36
2.3.2 Características del Color	37
2.3.2.1 El tono	38
2.3.2.2 Saturación	38
2.3.2.3 Intensidad	38
2.3.3 Umbral Cromático Específico	39
2.3.4 Umbral Cromático Diferencial	40
2.3.5 Visión de Los Colores	41
2.3.6 Contraste	41
2.3.7 Deslumbramiento.	43
2.3.7.1 Deslumbramiento Directo	43
2.3.7.2 Deslumbramiento Reflejado	44
2.3.7.3 Deslumbramiento Por Contraste	44
2.3.8 Brillo	45
3. LUZ ARTIFICIAL	47
3.1 IMPORTANCIA DE LA ILUMINACION	47
3.2 PROPIEDADES FOTOMETRICAS	48
3.2.1 Adaptación	48
3.2.2 Contraste	48
3.2.3 Sombra	49

3.2.4 Deslumbramiento	50
3.2.5 Ambiente Cromático	50
3.3 TIPOS DE FUENTES LUMINOSAS	51
3.3.1 Bombilla Incandescente	51
3.3.1.1 Características de la Bombilla Incandescente	52
3.3.1.2 Ventajas	52
3.3.1.4 Aplicaciones	54
3.3.2 Bombillas de Descarga	55
3.3.3 Bombilla de Vapor de Mercurio Alta Presión	56
3.3.3.1 Características	58
3.3.3.2 Ventajas	59
3.3.3.3 Desventajas	60
3.3.3.4 Aplicaciones	61
3.3.4 Bombilla de Luz Mixta	61
3.3.5 Bombilla de Vapor de Sodio Alta Presión	61
3.3.5.2 Ventajas	64
3.3.5.3 Desventajas	65
3.3.5.4 Aplicaciones	65
3.3.6 Bombilla de Vapor de Sodio Baja Presión	66
3.3.6.1 Características	68
3.3.6.2 Ventajas	69
3.3.6.3 Aplicaciones	70

3.3.7 Bombilla de Haluros Metálicos	71
3.3.7.1 Características	71
3.3.7.2 Ventajas	73
3.3.7.3 Desventajas	73
3.3.7.4 Aplicaciones	74
3.3.8 Bombillas Fluorescentes	74
3.3.8.1 Características	77
3.3.8.2 Ventajas	77
3.3.8.3 Desventajas	77
3.3.8.4 Aplicaciones	78
3.3.9 Bombillas Especiales para Procesos Industriales	78
3.3.9.1 Características	89
3.3.9.2 Aplicaciones	89
3.4 EFECTO FLICKER Y ESTROBOSCOPICO	98
4. RADIACIONES ULTRAVIOLETA (UV) E INFRARROJAS (IR)	100
4.1 GENERALIDADES	100
4.2 RADIACIONES ULTRAVIOLETA (UV)	100
4.3 RAYOS INFRARROJOS	102
5. EFECTOS DE LA LUZ Y LAS RADIACIONES UV E IR SOBRE LOS SERES HUMANOS	104

5.1 GENERALIDADES	104
5.2 EFECTOS OCULARES	105
5.2.1 Córnea	106
5.2.2 Lente Cristalino	107
5.2.3 Retina	109
5.3 EFECTOS EN LA PIEL	112
5.3.1 Propiedades Opticas de la piel	113
5.3.2 Eritema	114
5.3.3 Cáncer de Piel	116
5.4 EFECTOS PSICOLOGICOS	116
5.4.1 Psicología de la Iluminación en el Trabajo	117
5.4.2 Psicología del Color	119
5.5 EFECTOS DE LA LUZ SOBRE LA VITAMINA D Y EL METABOLISMO DEL CALCIO	121
5.5.1 Metabolismo de La Vitamina D	122
5.5.2 Producción de Vitamina D en la Piel Mediante Radiación	123
6. LA LUZ COMO TERAPIA	125
6.1 CONCEPTOS GENERALES	125
6.2 FOTOTERAPIA DE LA HIPERBILIRRUBINEMIA NEONATAL	
6.2.1 Modo de Empleo de la Fototerapia Neonatal	126

6.2.2	Diseño de los Equipos y Mediciones	128
6.2.2.1	Requerimiento de las Bombillas	128
6.2.2.2	Requerimiento en las Unidades de Luz en Fototerapia	129
6.2.2.3	Medición de las Radiaciones	130
6.3	FOTOQUIMIOTERAPIA	131
6.4	LUMINOTERAPIA	136
7.	NORMAS, NIVELES DE ILUMINACION Y RECOMENDACIONES	142
7.1	NORMAS TECNICAS ICONTEC DE ILUMINACION	142
7.2	NIVELES DE ILUMINACION	143
7.3	RECOMENDACIONES	145
	CONCLUSIONES	151
	GLOSARIO	159
	ANEXO 1. MAGNITUDES Y UNIDADES FOTOMETRICAS	165
	ANEXO 2. TABLA DE FLUJO LUMINOSO DE LAS FUENTES DISPONIBLES EN EL MERCADO	170

ANEXO 3. TABLA DE NIVELES DE ILUMINACION PARA DIFERENTES TIPOS DE TRABAJO	173
BIBLIOGRAFIA	174

0. INTRODUCCION

A medida que transcurre el tiempo, el hombre ha evolucionado en el diseño y fabricación de fuentes para iluminación artificial, hasta hacerlas más próximas a la luz natural. Pero esta evolución va llevando consigo otros fenómenos que para el mismo hombre son muy incómodos, ya que al tiempo de ganar intensidad luminica va a producirse un mayor brillo que le causará incomodidad para el desarrollo de su trabajo y/o de sus actividades en general.

Por otra parte, hoy es muy frecuente esta pregunta: Llega a afectar la luz artificial la salud humana? Este interrogante se da, ya que la gran mayoría de las bombillas existentes en el mercado tienen un alto nivel de radiación ultravioleta, que puede ser perjudicial para el hombre; pero no sólo nos concentramos en la luz artificial, sino también en la luz natural ya que ésta, tiene mayor número de efectos para la salud humana. Sinembargo, estos efectos no son sólo negativos ya que actualmente se está usando la luz como solución y cura para algunas enfermedades.

Como se dijo anteriormente, nos concentraremos principalmente en las radiaciones ultravioleta. Entre sus efectos perjudiciales están: la quemadura y el cáncer de piel; daños retinales y cataratas en los ojos. Entre sus efectos benéficos podemos encontrar el estímulo de la productividad de la vitamina D, que protege la piel ya que actualmente se están haciendo tratamientos con luminosidad para ictericia del recién nacido. También se pueden prevenir depresiones crónicas de estación causadas por la desincronización debida a la variación de los niveles de iluminación en tiempo de invierno y el flujo de hormonas que regulan los ritmos biológicos, en los países con estaciones climáticas definidas.

No solamente existen efectos debidos a radación ultravioleta, también podemos encontrar aunque en menor proporción efectos producidos por radiación infrarroja y radiación lumínica; con respecto a las radiaciones infrarrojas, la enfermedad más común es la que se conoce con el nombre de "cataratas del vidriero", presente como su nombre lo indica en el soplador de vidrios por su largo periodo de exposición a la radiación infrarroja. La radiación lumínica o luz visible puede causar efectos retinales, o el simple hecho de incomodidad visual si es mal distribuida en algún sitio de trabajo.

La presente investigación tiene por objeto tratar estos efectos y así darles la importancia que tienen en el estudio de la iluminación; el diseño de la iluminación no

es el simple hecho de dar luz a un recinto, sino garantizar que esa iluminación no sea molesta e incómoda para los que la perciben. También se hace la divulgación de reglamentos instituidos por regla general en diferentes partes del mundo, sobre el tipo y niveles de iluminación requeridos según el tipo de trabajo que realiza el individuo para que su labor sea productiva.

1. NATURALEZA DE LA LUZ

1.1 CONCEPTOS GENERALES

La luz, es el agente físico que incide sobre los objetos y los hace visibles. El sol es la principal fuente de luz natural, de gran importancia para los hombres y los animales, por poseer el órgano de la vista.

La luz solar influye en nuestra vida cotidiana, puesto que el hombre comunmente trabaja de día y descansa de noche. Durante el transcurso del tiempo el hombre ha podido conseguir distintas formas de energía convirtiéndolas en luz artificial, necesaria para realizar las actividades humanas.

1.2 QUE ES LA LUZ?

A lo largo y ancho de la historia de la ciencia, ha sido muy importante dar respuesta a este gran fenómeno físico de tanta influencia en la vida del hombre. Todas las hipótesis planteadas para explicar la naturaleza de la luz fueron verificadas mediante

la experimentación. Se rechazó la primera explicación de la luz, ya que se creía que la luz consistía en ciertos rayos que se proyectaban desde los ojos hacia los objetos vistos. Esta idea fracasó tanto lógica como experimentalmente. Tiempo después se descubrió que la luz era un agente externo y se comenzó a estudiar científicamente su naturaleza; naciendo de esta forma la óptica, que trata de la naturaleza y propiedades de la luz.

1.2.1 Teoría Corpuscular

A mediados del siglo XVII, el físico inglés Isaac Newton, descompuso la luz solar haciéndola pasar por un prisma de vidrio, y demostró que la luz blanca es una mezcla de seis colores: rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta. A esta serie de colores se la llamó ESPECTRO LUMINOSO. Este mismo fenómeno de descomposición de la luz se produce en el arco iris. Allí las gotas de lluvia forman una gran cantidad de prismas pequeños. Después de otras investigaciones y basado en el hecho que la luz se propaga en línea recta, pudo afirmarse que la luz estaba constituida por pequeños corpúsculos, enunciando así su TEORIA CORPUSCULAR. De otro lado se creía también, que la luz se propagaba por medio de ondas.

La teoría corpuscular para la luz se basa en las siguientes premisas:

1. Los cuerpos luminosos emiten energía radiante en forma de partículas.

2. Estas partículas son emitidas intermitentemente en línea recta.
3. Estas partículas actúan sobre la retina del ojo estimulando los nervios ópticos para producir la sensación de luz.

1.2.2 Teoría Ondulatoria

Al chocar las ondas que se forman en el agua contra un obstáculo, éstas rodean sus bordes concéntricamente. Huygens, observando este suceso, pensó que de pronto con la luz sucedía algo parecido a lo observado con el agua. Llevándolo así a enunciar su teoría ondulatoria:

1. La luz resulta de las vibraciones moleculares en el material luminoso.
2. Las vibraciones se transmiten a través del medio como movimiento ondulatorio similares a las ondulaciones en el agua.
3. Las vibraciones transmitidas de esta forma actúan sobre la retina del ojo estimulando el nervio óptico para producir la sensación visual.

Por la anterior razón surgió una gran polémica referente a las dos teorías, hasta que en 1801, Tomas Young probó experimentalmente la teoría ondulatoria. La prueba que

demuestra que la luz tiene naturaleza ondulatoria proviene del descubrimiento de los fenómenos de difracción e interferencia como se explicarán a continuación.

Desde el punto de vista físico, la difracción es la capacidad de las ondas para deflectarse o cambiar de dirección alrededor de obstáculos colocados en su trayectoria.

Para entender más fácilmente este fenómeno, consideremos qué pasa cuando las ondas en el agua inciden sobre una abertura angosta. Empleándose un generador de ondas planas en una cubeta según figura No. 1, las ondas planas inciden sobre la barrera, dispersándose en la región del otro lado de la abertura. Cumpliéndose así el principio de Huygens: "Cada punto sobre un frente de onda puede considerarse como una nueva fuente de ondas secundarias".

Este ejemplo se puede llevar a cabo con la luz, y para una mejor observación la rendija debe ser lo más angosta posible. En pocas palabras, la difracción es más notable cuando las dimensiones de una abertura u obstáculo son comparables a la longitud de las ondas que inciden sobre ellas.

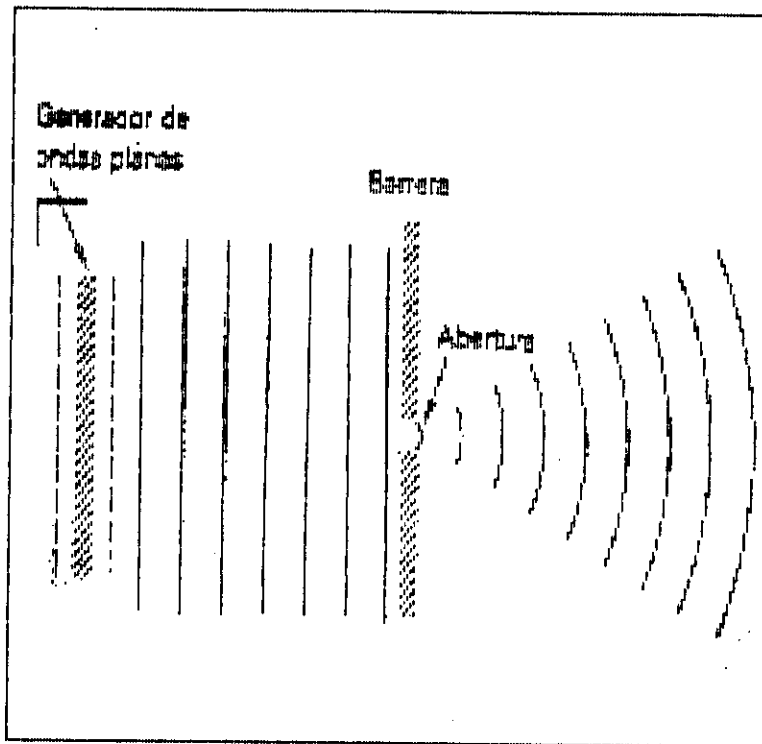


Figura No. 1: Diagrama esquemático que muestra la difracción de ondas planas en el agua al pasar por una rendija estrecha

Experimento de Young: Interferencia.

Consiste en demostrar que una luz proveniente de una fuente monocromática, como se muestra en la figura No. 2, incide sobre una rendija X, que actúa como una fuente de onda secundaria; dos rendijas más Y1 y Y2 se encuentran paralelas a X y equidistantes de ésta. La luz que proviene de X pasa a través de Y1 y Y2 y de allí se proyecta sobre una pantalla Z, que aparece iluminada mediante franjas brillantes y oscuras. Si la luz no se difractara, la pantalla estaría completamente oscura y es algo que no sucede, según se observa en la figura No. 3. De aquí, que este experimento

hizo que los físicos de esa época pusieran en duda que la luz consta de partículas que se propagan en línea recta. Lo que puede explicarse por medio de la teoría ondulatoria.

La iluminación de la pantalla con franjas brillantes y oscuras alternadas se puede también explicar en términos de la teoría ondulatoria. "Cuando dos o más ondas existen simultáneamente en el mismo medio, la amplitud resultante en cualquier punto es la suma de las amplitudes de las ondas compuestas en dicho punto".

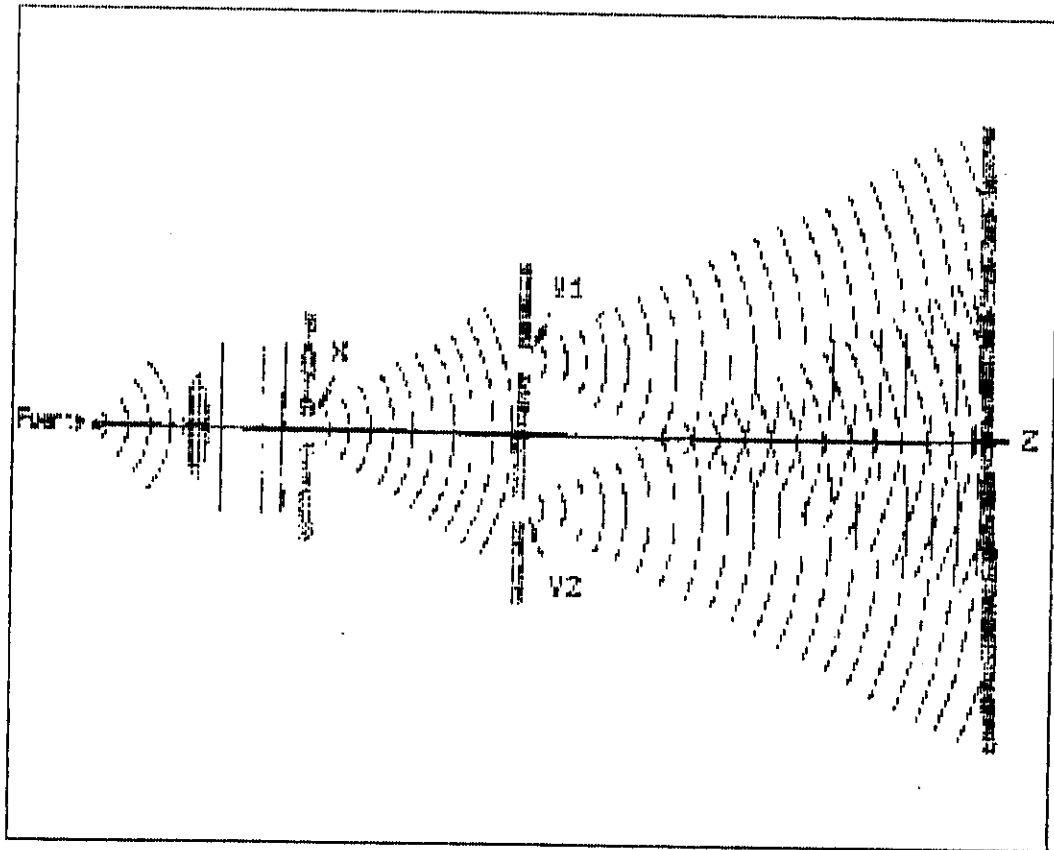


Figura No 2: Gráfica del experimento de Young

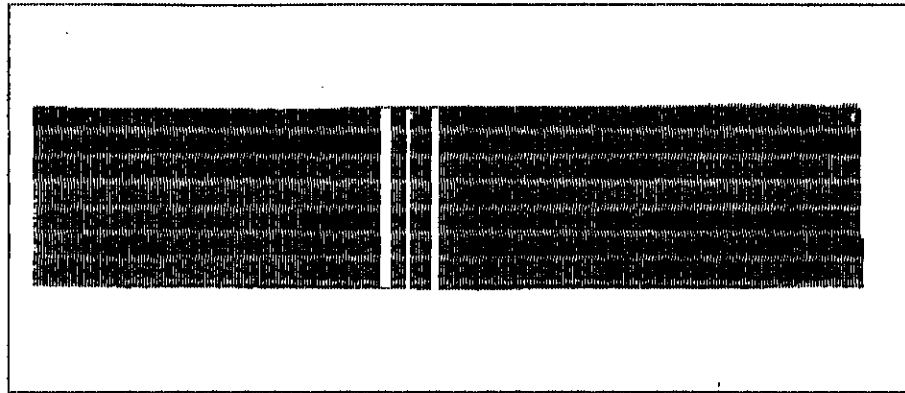


Figura No 3: Fotografía de un patrón de difracción en el experimento de Young

1.2.3 Propagación de la Luz.

La interferencia y la difracción sólo podían explicarse en términos de la teoría ondulatoria. Pero se presentaban algunas preguntas, ya que todos los fenómenos ondulatorios necesitaban de un medio para transportarse. Cómo la luz podía viajar a través del vacío sin existir nada que 'vibrara' en realidad? Cómo puede llegar la luz a la tierra desde el sol o de otra estrella a través de millones de kilómetros de espacio vacío? Para contestar ésta y otras preguntas los físicos introdujeron la existencia de un 'éter' en donde la luz podía transmitirse. Pero, de qué está compuesto el ETER? Lo que se sabía era que no era gas, sólido o líquido que obedeciera las leyes físicas conocidas en ese entonces; como tampoco se rechazaba la teoría ondulatoria de difracción e interferencia. Por lo que se definió como el medio en que la luz puede viajar.

En 1860 Maxwell demostró que una carga acelerada puede radiar ondas electromagnéticas en el espacio; explicó que la energía de una onda electromagnética se reparte entre campos eléctricos y magnéticos perpendiculares entre sí. Figura No. 4.

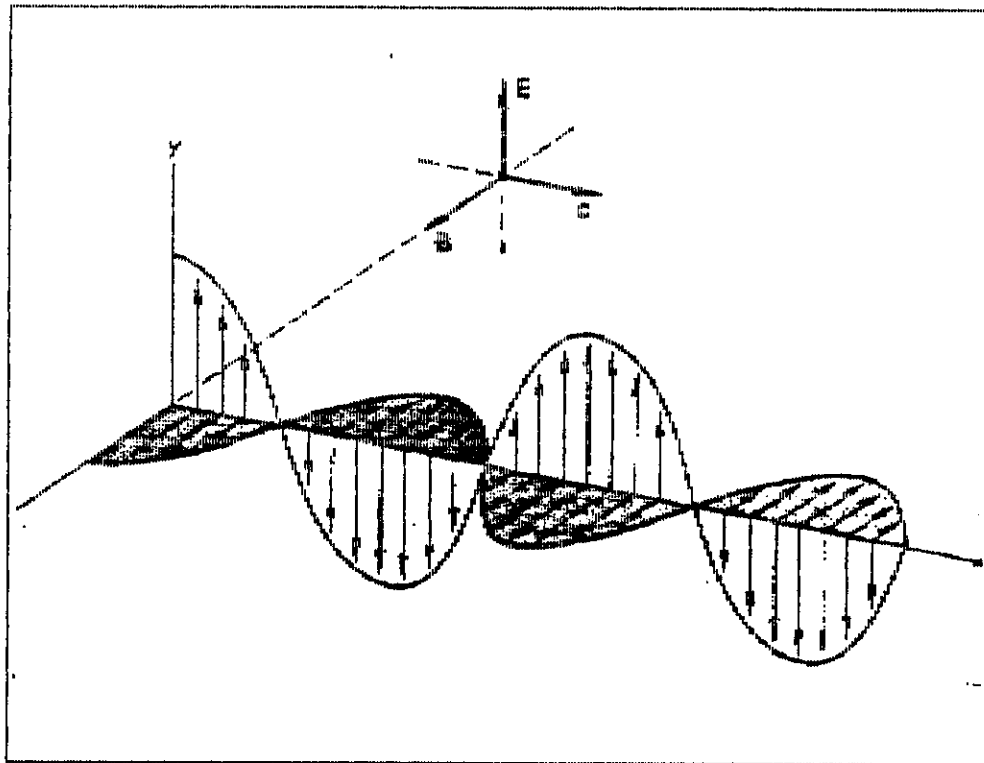


Figura No 4:La teoría electromagnética de la luz establece que ésta se propaga en campos transversales oscilatorios. La energía se reparte entre los campos eléctricos (E) y magnéticos (B) siendo éstos perpendiculares entre sí.

La velocidad de propagación de las ondas se pudo calcular por medio de medidas eléctricas y magnéticas, y su valor fué aproximadamente $3 \cdot 10^8$ m/s, resultando ser igual a la velocidad de propagación de la luz (determinada experimentalmente), poniendo en evidencia que la luz se propaga en forma de ondas electromagnéticas de longitud de onda extremadamente corta y que los cuerpos emiten luz en forma de energía radiante. De aquí que esta teoría constituyó uno de los triunfos de la física.

1.2.4 Espectro Electromagnético

No es cierto que las únicas ondas electromagnéticas conocidas son las luminosas. En lo que concierne a su naturaleza fundamental, no existe diferencia entre las ondas luminosas y otras ondas electromagnéticas como pueden ser las producidas por un circuito oscilante. El término ESPECTRO se utiliza para designar todo el intervalo de ondas electromagnéticas, así como el espectro visible está constituido únicamente por aquellas ondas capaces de estimular el sentido de la vista.

Con respecto a la longitud de onda, el segmento del espectro electromagnético referido a la región visible está comprendido entre 380 y 760 nanómetros(nm). Otra unidad anteriormente utilizada fue el Angstrom (\AA) que es igual a 0.1 nm. La región visible está repartida en orden de longitud de onda ascendente así: violeta (380 nm a 430

nm), azul (430 nm a 480 nm), verde (480 nm a 560 nm), amarillo (560 nm a 590 nm), naranja (590 nm a 620 nm) y rojo (620 nm a 760 nm).

El espectro electromagnético se divide en siete regiones principales como se aprecia en la figura No. 5.

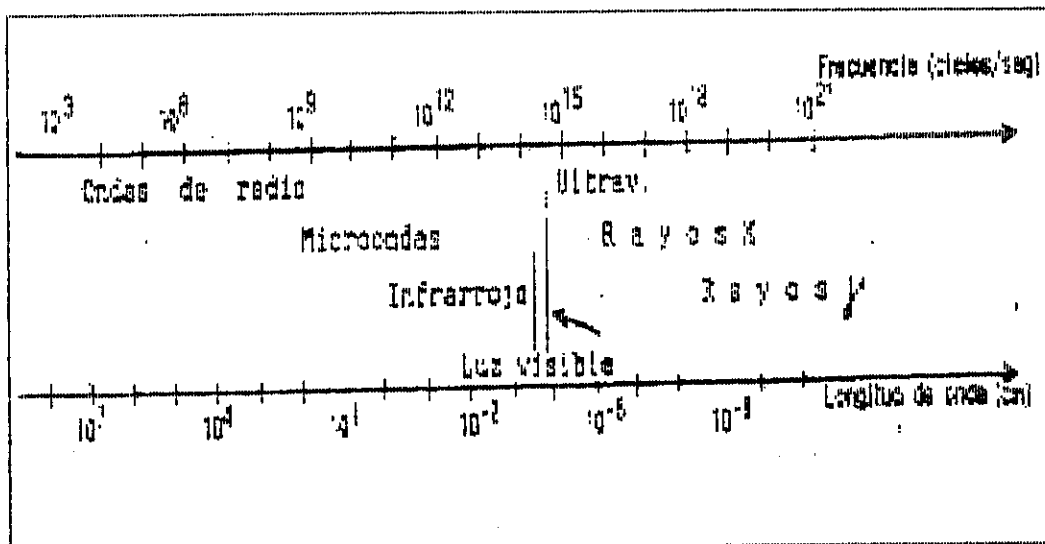


Figura No 5:El espectro electromagnético

ONDAS DE RADIO. Podemos recordar que Hertz utilizó un oscilador electrónico para generar las ondas que ahora llevan su nombre, pudiendo captar éstas con un receptor de radio muy primitivo. Las ondas de radio tienen frecuencias que van desde $10E^4$ Hz hasta $10E^{10}$ Hz. Las de menor frecuencia tienen una longitud de onda de 30 km y se difractan alrededor de cualquier obstáculo. Las estaciones de radio en AM (amplitud modulada) utilizan frecuencias bajas; las bandas de frecuencia más altas

están ocupadas por los radioaficionados, la policía, aviación, frecuencias moduladas y otros.

En las radiofrecuencias altas se encuentran las MICROONDAS. Cuyas frecuencias varían entre 10^9 y 10^{12} Hz. Estas también son utilizadas para telecomunicaciones a través de satélites y las de alta frecuencia se utilizan para producir calor.

ONDAS INFRARROJAS. Infrarrojo es el nombre dado a la radiación electromagnética residente en la banda de longitudes de onda inmediatamente después de los límites del rojo del espectro visible. El rango espectral de la radiación infrarroja es generalmente considerado como el existente entre 760 y 10^6 nm (i.e 1 mm). Este rango de longitud de onda es arbitrariamente dividido en tres bandas (valores CIE):

IR-A (radiación infrarroja de onda corta) de 760 a 1400 nm

IR-B (radiación infrarroja de onda media) de 1400 a 3000 nm

IR-C (radiación infrarroja de onda larga) de 3000 a 10^6 nm

Toda la radiación puede ser absorbida y degradada a calor, pero la banda de onda infrarroja, y en particular su región de onda corta, tiene el más fuerte efecto de calentamiento entre todos los tipos de radiación.

La radiación infrarroja es invisible al ojo humano. No puede ser vista, pero si sentida como calor. Pasa a través del vacío o a través de aire limpio sin pérdida de energía apreciable. Solamente cuando la radiación se estrella con un objeto en su camino es absorbida y siendo absorbida se convierte en calor.

La radiación infrarroja se comporta, en muchos aspectos, en la misma forma que la radiación visible. Puede ser reflejada y concentrada dentro de un área, obviando así muchos de los problemas de pérdida de calor asociados con otros métodos de calentamiento.

LA LUZ VISIBLE. Como ya vimos anteriormente cubre una banda muy estrecha del espectro. Fuera de esta zona nuestros ojos no ven.

RADIACION ULTRAVIOLETA. Ultravioleta es el nombre dado a la radiación electromagnética residente en la banda de longitud de onda inmediatamente seguido al fin del violeta del espectro visible. El rango espectral de la radiación ultravioleta es generalmente considerado como el que reside entre 100 nm y 400 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9}$). Este rango de longitud de onda es arbitrariamente subdividido en tres bandas (valores CIE):

UV-A (radiación-UV de onda-larga) de 315 a 400 nm

UV-B (radiación-UV de onda-media)	de 280 a 315 nm
UV-C (radiación-UV de onda-corta)	de 100 a 280 nm

La radiación en la banda de UV-A pasa a través de la mayoría de tipos de cristal y prácticamente no produce efectos eritémicos (enrojecimiento) sobre la piel humana. La radiación en esta banda tiene la propiedad de causar fluorescencia en ciertos materiales y causa reacciones fototérmicas en otros. Por lo tanto es usado en varios procesos industriales.

La radiación en la banda UV-B tiene efectos eritémicos y de pigmentación (bronceado) sobre la piel humana. Tal radiación juega una parte activa en la formación de vitamina D en el cuerpo, la cual es requerida para contrarrestar enfermedades como el raquitismo. Esta forma de radiación es por esto usada principalmente en procesos terapéuticos.

La radiación en la banda de UV-C tiene un fuerte efecto germicida. Destruye bacterias, moho, esporas y otros micro-organismos residentes en el aire o en superficies expuestas, pero no penetra en la mayoría de las sustancias. A longitudes de onda menores a 200 nm, la radiación UV-C es absorbida por el aire y forma ozono del oxígeno, el cual tiene propiedades desodorantes, pero es también peligroso al organismo humano en ciertas concentraciones.

En general, las radiaciones UV-B y UV-C necesitan algún cuidado en su aplicación donde estén involucrados seres humanos. La exposición prolongada producirá enrojecimiento de la piel (eritema) e irritación de los ojos (conjuntivitis). Los niveles estándar para radiación UV son ampliamente excedidos por la luz natural del sol. En la radiación del sol que recibimos sobre la tierra hay una relativamente amplia cantidad de UV-A, solamente un porcentaje pequeño de UV-B, pero absolutamente nada de radiación UV-C.

RAYOS X. Son más penetrantes que la luz visible, ya que poseen más energía. Los rayos X son de gran utilidad para visualizar estructuras internas y poder detectar fracturas, malformaciones, etc.

RAYOS GAMMA. Poseen más energía que los rayos X. La radiación gamma aparece como producto de la radiactividad. Es tanta la energía que contienen estos rayos, que les permite penetrar gruesos muros de concreto sin perder considerablemente su energía. Esta energía puede alcanzar frecuencias de 10^{24} Hz. Después de esta región se encuentran otras no menos importantes como son los RAYOS BETA, COSMICOS etc.

1.2.5 Teoría Cuántica.

La teoría electromagnética clásica no podía explicar el fenómeno de la emisión fotoeléctrica, esto es, la expulsión de electrones de un conductor por la luz que incide sobre su superficie. En 1901 Max Planck publicó su hipótesis cuántica. Postuló que la energía electromagnética se absorbe o se emite en paquetes o cuantos; el contenido electromagnético de estos cuantos o fotones, como se llamaron posteriormente, es proporcional a la frecuencia de radiación.

$$E = hf$$

donde,

$$h = 6,62517 \cdot 10^{-27} \text{ ergio} \cdot \text{seg} \text{ (Constante de Planck)}$$

f = Frecuencia en ciclos/seg.

En 1905 Einstein amplió la teoría de Planck y postuló que la energía de un haz luminoso no se esparce continuamente a través del espacio, sino que se concentra en pequeños paquetes o fotones. Se decía que el fotón tenía una frecuencia y que la energía del fotón era proporcional a aquella y que el mecanismo del efecto fotoeléctrico consistía en una transmisión de energía de un fotón a un electrón.

1.2.6 En Síntesis. Qué es la Luz?

LUZ: Agente físico que ilumina los objetos y los hace visibles. (Diccionario de la Lengua Española)

LUZ: Es aquel aspecto de la energía radiante que un observador humano percibe a través de las sensaciones visuales producidas por el estímulo de la retina del ojo. (Comité de la Optical Society of America)

LUZ: Onda electromagnética que tiene la capacidad de sensibilizar el ojo humano. (IES Lighting Handbook, Reference Volume)

Sin embargo, cualquier definición que se pretenda hacer de la luz resultaría incompleta, ya que seguramente dejará de lado algún aspecto particular de este difícil fenómeno.

Se ha visto que en la historia de las teorías ópticas, han competido durante siglos dos modelos muy diferentes sobre la teoría de la luz. En alguna se ha pensado en la luz como algún tipo de movimiento ondulatorio, el otro, se considera como un flujo de partículas veloces. Pero a fin de cuentas con cuál nos quedamos?

La rápida, accidentada, y controversial evolución de las teorías ópticas nos hace pensar que quizá muchas de las afirmaciones que hacemos hoy día sobre la luz tienen carácter provisional. Podemos suponer que nos hemos ido acercando poco a poco a un mejor conocimiento del fenómeno de la luz, pero probablemente no habrá que esperar mucho tiempo para aprender más sobre ella y corregir alguna de las afirmaciones presentes, y así tener una respuesta a tan extraño fenómeno.

2. OPTICA FISIOLOGICA, PERCEPCION LUMINICA Y COLOR.

2.1 GENERALIDADES.

Hemos visto que la radiación visible se manifiesta como luz mientras actúe sobre el órgano de la visión. Es necesario conocer los fundamentos de la visión: En otras palabras, la OPTICA FISIOLOGICA, la cual, como veremos a continuación, es uno de los fundamentos más importantes de la luminotecnia.

En el estudio de la iluminación intervienen dos factores que están dados en primer lugar, por la fuente de energía luminosa, y en segundo término por el órgano receptor de esa energía luminosa, que para nuestro caso es el ojo humano. Este, por medio de la sensación visual, recoge las radiaciones luminosas y las envía al cerebro para que sean interpretadas mediante la PERCEPCION VISUAL.

2.2 CONSTITUCION DEL OJO

El ojo humano es el órgano fisiológico, que nos permite reconocer los objetos que nos rodean, en su forma, su tamaño, su color, distancia, posición, etc. El corte

esquemático de la figura No. 6 muestra las partes fundamentales del globo del ojo. Está envuelto por la ESCLEROTICA que es una membrana fuerte y resistente. Su parte anterior más curvada, constituye la CORNEA, clara y transparente formando la primera capa de refracción óptica. Tiene la función de proteger el ojo, como lo hacen también los párpados, cejas, pestañas, etc. Detrás, y separado por la cámara anterior que contiene el humor acuoso, el cual es un líquido transparente se encuentra el CRISTALINO que es como una lente cuya curvatura puede variar según sea la tensión ejercida por un conjunto elástico llamado Zónula de Zinn, tensión que varía con la distancia al objeto visible (acomodación). La cámara posterior del globo ocular contiene el humor vítreo, el cual es una masa gelatinosa transparente que actúa como medio refrigerante. La córnea, el humor acuoso, el cristalino y el humor vítreo constituyen el sistema dióptrico centrado del ojo, cuyo centro óptico se encuentra cerca de la cara posterior del cristalino. Los rayos luminosos dibujados en la figura No. 6 se cortan en el centro óptico.

Delante del cristalino se encuentra el IRIS el cual gradúa automáticamente la abertura de entrada de luz en el ojo. Tiene una perforación circular por la que penetra la luz hacia el interior del ojo llamada PUPILA, que puede variar de diámetro graduando de este modo los haces luminosos, ya sea para aumentar la nitidez de la imagen o como protección contra una excitación luminosa demasiado fuerte.

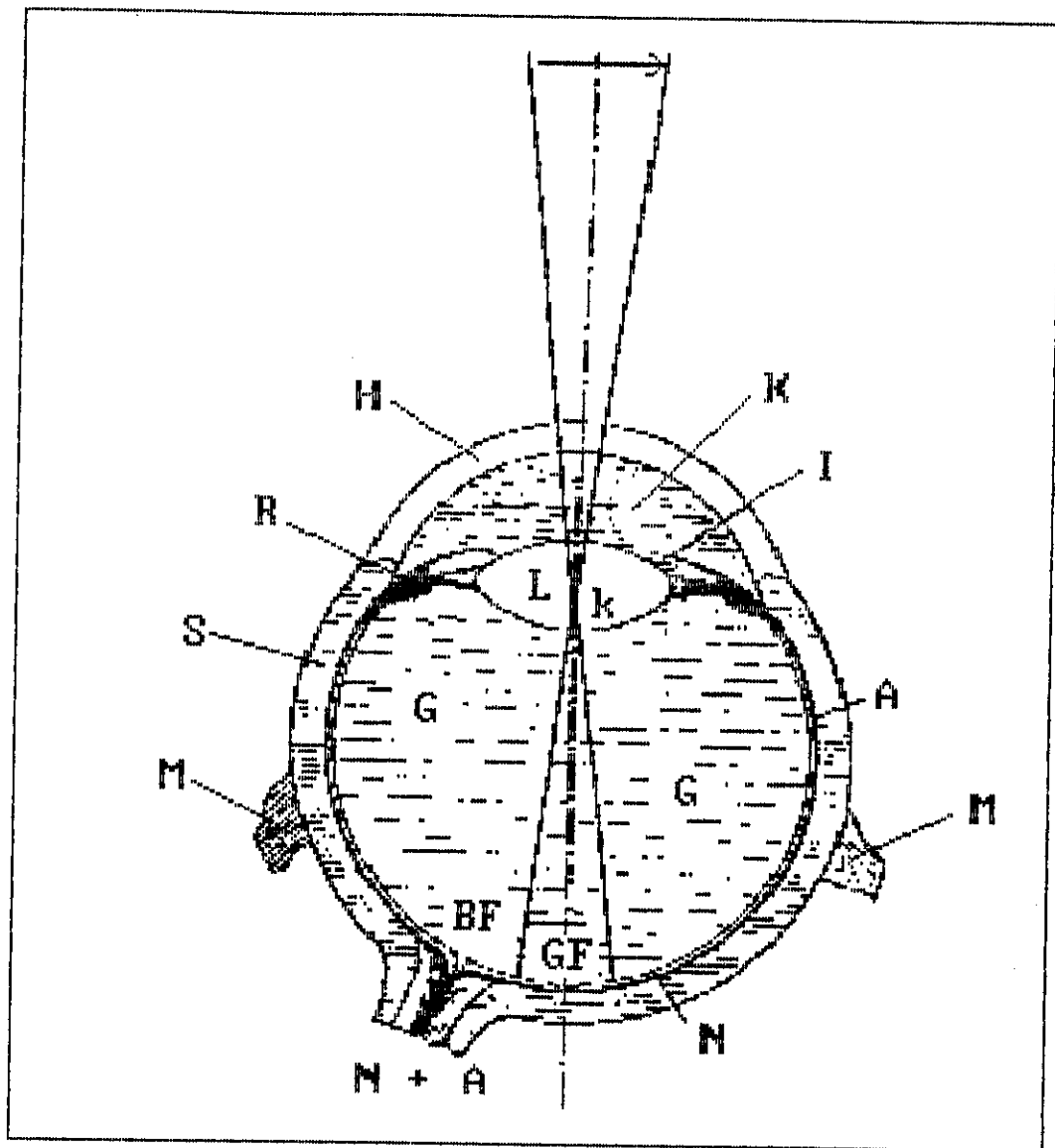


Figura No 6: Ojo Humano: corte horizontal del ojo

H = Córnea

S = Esclerótica

M = Músculo

A = Coroides

R = Músculo Ciliar

G = Humor vitreo

K = Humor acuoso

I = Iris con pupila

L = Cristalino

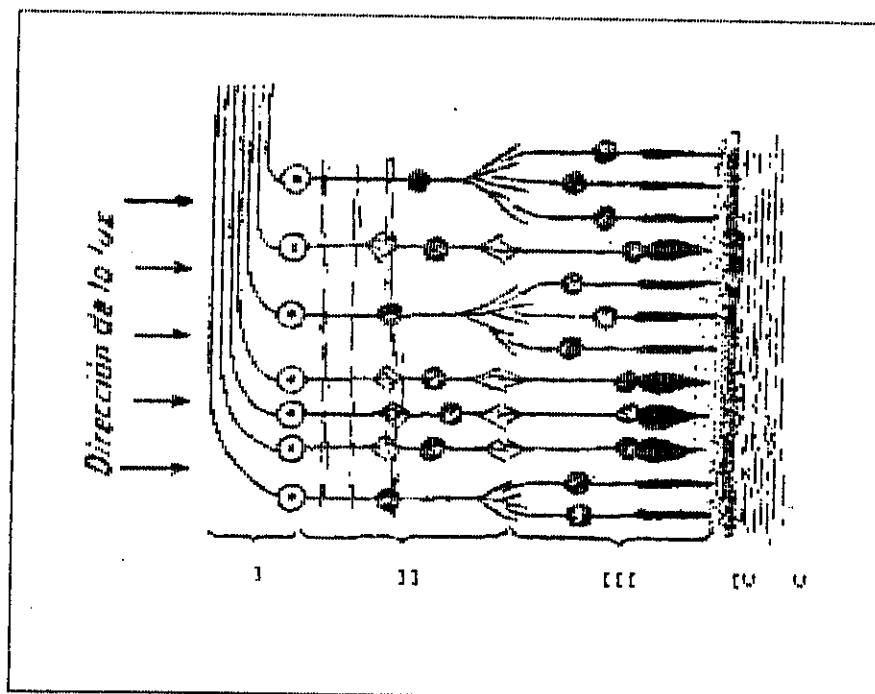
N = Retina

GF= Mancha amarilla

BF= Punto ciego

Para ver con claridad la imagen retiniana es necesario que penetre en el ojo cierta cantidad de luz. Cuando existe mucha en el ambiente, se dilata el iris y la pupila se contrae. Cuando hay poca luz, se contrae el iris y la pupila se agranda. Estos cambios de tamaño de la pupila se denominan REACCION PUPILAR.

La parte posterior del ojo está cubierta por la COROIDES, oscura y aterciopelada, que forma la cámara oscura; la fina malla constituida por capilares arteriales y venosos efectúa, por ósmosis y difusión, la nutrición total del ojo y contribuye al proceso de la visión. Sobre la coroides se encuentra la RETINA, el verdadero órgano sensible a la luz, que absorbe la excitación óptica de la imagen, transmitiéndola al cerebro a través del haz de nervios ópticos. En la figura No.7 encontramos un corte esquemático de la retina.



Ilustr. 7 Corte esquemático de la retina.

- I. Conductos nerviosos con células ganglionares
- II. Gránulos y anastomosis₃₂
- III. Conos y bastoncitos (con nuevos gránulos)
- IV. Granos pigmentarios (sensibilizadores)
- V. Capa vascular.

La retina es una membrana delgada, transparente; sobre ella se forman las imágenes luminosas que quedan impresionadas de forma semejante a una película fotográfica. Pero la retina, es mucho más perfecta puesto que puede regenerarse continuamente, y además, puede recibir un mayor número de imágenes luminosas.

Las imágenes impresionadas en la retina pasan al NERVIO OPTICO que las conduce al cerebro, donde tiene lugar la verdadera percepción luminosa; es decir, que las imágenes se forman en el ojo, pero sólo el cerebro es capaz de interpretarlas.

La retina contiene dos clases de órganos terminales como elementos absorbentes de luz, los CONOS y los BASTONCITOS. Los conos y bastoncitos son en realidad los órganos sensibles a los estímulos luminosos y en ellos es donde se transforma la energía luminosa en sensación o energía nerviosa, que es conducida al cerebro por el nervio óptico. Pero ambos órganos tienen distinta función:

Los bastoncitos son muy sensibles a la energía luminosa propiamente dicha y muy insensibles al color, por el contrario, los conos son muy sensibles al color pero casi insensibles a la energía luminosa, o sea, que con los bastoncitos percibimos la mayor o menor claridad con que están iluminados los objetos, mientras que con los conos podemos apreciar el color de dicho objeto. Por lo tanto, en la visión a la luz del día o VISION FOTOPICA intervienen mayor cantidad de conos, mientras que la visión

nocturna o VISION ESCOTOPICA intervienen una gran cantidad de bastoncitos, recordando que por la noche los objetos se ven de color gris.

Los conos y bastones están sumergidos en una capa de granos pigmentarios, los cuales actúan como agentes de sensibilización, aumentando la sensibilidad de los elementos de la retina. En el centro de la retina alrededor de la fovea central se extiende entre los conos un pigmento amarillo sensibilizante llamado MANCHA AMARILLA.

En el punto de entrada del haz nervioso en el globo ocular, no se encuentran ni conos ni bastones, por lo que esta zona se le denomina PUNTO CIEGO.

La transmitancia del ojo varía con la longitud de onda y con la edad. En ojos jóvenes, la córnea absorbe la mayor parte de la radiación incidente menor a 300 nanómetros mientras que los lentes cristalinos filtran efectivamente longitudes de onda más cortas que 380 nanómetros. En concordancia, la retina recibe radiación en el rango entre 380 a 950 nanómetros con muy poca atenuación. Más allá de los 950 nanómetros, la transmitancia es variable con mayor absorción en bandas de radiación infrarroja. Hay muy poca radiación que excede los 1400 nanómetros.

2.3 EL COLOR

Para dar una definición acertada del color, debemos tener en cuenta los distintos significados de la palabra, ya que el uso que se da al término 'color' es sumamente amplio. En física, se considera únicamente, como luz o energía de diferentes longitudes de onda de la energía radiante. En química, es considerada como una parte de las sustancias o como una cualidad de las diferentes sustancias. En fisiología y psicología se utiliza para designar la sensación producida en el observador, cuando su retina es estimulada por determinada energía radiante, aunque esa sensación puede producirse sin ese estímulo.

En un sentido popular, el término color, se usa para especificar una propiedad de los cuerpos en general. Si bien se puede alabar el rojo de una flor, o el verde de una esmeralda, esto en rigor no sería cierto, puesto que el color como tal no existe en los objetos, sino que es una experiencia, un evento psicológico, ya que las diferentes formas de distribución de la luz (por dispersión, absorción, refracción, etc), carecen de todo color. Tan sólo se convierte en color cuando pasa por el mecanismo visual y es registrado como tal en el cerebro. Así, entonces, los ejemplos de la flor y la esmeralda, en su estructura, contienen ciertas sustancias que absorben de la luz incidente todos los colores menos el rojo (o el verde para el caso de la esmeralda), el cual es reflejado y devuelto a la atmósfera o recogido por el observador mediante el ojo.

Cuando los colores de la luz (rojo, verde y azul) se combinan en proporciones adecuadas, el resultado es el 'blanco'. Por lo anterior, a estos tres colores se les da el nombre de COLORES PRIMARIOS DE LA LUZ. En otras palabras, si por ejemplo encendemos simultáneamente una luz verde, una azul y una roja en igual proporción de intensidad, los objetos se ven de color 'normal'. Los diferentes objetos reflejan una proporción diferente de cada uno de los colores. Las superficies blancas las reflejan todas, las negras no reflejan ninguna, puesto que los absorben en su totalidad. Si un material transparente es incoloro, es porque deja pasar todos los colores sin absorber ni reflejar ninguno.

En el caso de pigmentos, pinturas, tintes, etc., el rojo, el azul y el amarillo constituyen los colores primarios, ya que no entran en su composición los demás colores. Los colores secundarios son los que nacen de la mezcla de los tres colores simples. La mezcla del azul y el rojo produce el violeta, del rojo y amarillo aparece el naranja, y del azul y el amarillo nace el verde. El número de matices de estos colores es infinito.

2.3.1 El Arco Iris

Recordemos primero el experimento que realizó Newton con un prisma: Cuando se envía un haz de luz 'blanca' hacia un prisma de vidrio (u otro material transparente), el prisma refracta la luz a la entrada y a la salida, descomponiéndola en todos los

colores del espectro. En otras palabras, el prisma dispersa la luz en cada uno de sus colores (rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta). La radiación componente del rojo es la que menos se refracta y la violeta es la que tiene mayor refracción.

De lo anterior podemos concluir que el índice de refracción del vidrio es diferente para cada uno de los colores: para el naranja mayor que para el rojo, para el amarillo mayor que para el naranja, etc.

Cuántos colores existen en el espectro? El espectro de siete colores es tan arbitrario, que si observamos con cuidado la luz artificial que sale de un prisma, podemos creer que salen infinidad de colores, siendo imposible definir la frontera entre dos colores diferentes.

Sin embargo, los detalles de la formación del arcoiris se pueden entender como resultado de la refracción y reflexión de la luz por las gotas de lluvia. Como la luz roja se refracta menos que la violeta, aparece más alta en el cielo, explicando así el orden de aparición de los colores.

2.3.2 Características del Color

Un color o sensación cromática se puede definir a través de tres factores característicos como son: el tono, la saturación y la intensidad.

2.3.2.1 El tono

Constituye la primera dimensión del color. Es la propiedad de los estímulos, los cuales pueden participar con uno o más sectores específicos del espectro, dependiendo primordialmente de la longitud de onda. Si se trata de una mezcla de longitudes de onda, el tono o matiz depende de la longitud de onda predominante. La relación entre longitud de onda y matiz no es algo estable, esto se debe a que el ojo no posee igual sensibilidad para todas las longitudes de onda, y esta varía con el brillo.

En la figura No. 8 podemos apreciar la curva de sensibilidad del ojo con respecto a la luz diurna (fotópica) y a la luz nocturna (escotópica).

2.3.2.2 Saturación

Es la segunda cualidad del color. Depende de la cantidad de blanco que contenga el color. Podemos decir que un color es saturado cuando no contiene blanco. A medida que se le añade blanco, se consiguen matices de un mismo color, pero va perdiéndose su saturación sin que por ello se pierda su calidad en cuanto al color.

2.3.2.3 Intensidad

Representa la fuerza con que nuestros ojos perciben un determinado color, sin tener en cuenta el tono cromático. Es muy difícil distinguir si dos colores diferentes tienen

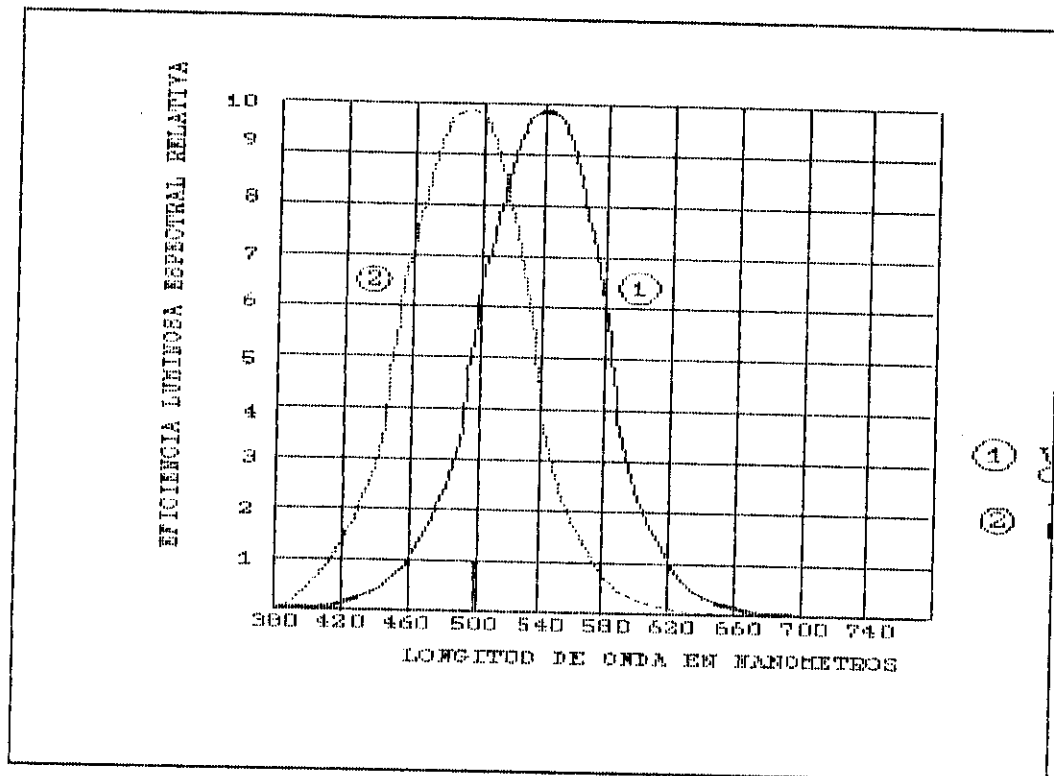


Figura No. 8 Curva de Sensibilidad relativa para conos y para bastones.

- (1) Visión fotópica (conos). Luz del día
- (2) Visión escotópica (bastones). Noche

la misma intensidad; aunque, debemos comprender que el color blanco es el más intenso de todos y el color negro el menos intenso.

2.3.3 Umbral Cromático Específico

Varía por la naturaleza del estímulo y la región de la retina estimulada. En particular, se ha observado que la apreciación de los colores varía considerablemente según la región de la retina que haya sido estimulada. Es así como para la adaptación a la luz,

la retina periférica normalmente es acromática y los campos visuales para los distintos colores se muestran aproximadamente concéntricos. El del azul es el mayor, lo sigue el amarillo, luego los de rojo y verde. Por lo tanto, la región intermedia de la retina resulta de esta manera bicromática (ejemplo azul-amarillo). Si se aumenta la intensidad del estímulo, aumentan las magnitudes de estos campos cromáticos, hasta un punto en que todos los colores, salvo el verde, puede apreciarse en la periferia de la retina.

Dos partes de color yuxtapuestas y separados solamente por un límite de contraste de color no pueden ser percibidos como datos diferentes en cromaticidad o separados por un límite de contraste si la diferencia en la cromaticidad de los dos lados en el límite es reducida a un umbral menor de visibilidad. Un límite de contraste puede involucrar tanto diferencias en luminancia como en cromaticidad a los dos lados del límite.

2.3.4 Umbral Cromático Diferencial

Es la mínima diferencia de longitud de onda que permite la diferencia de dos tonos distintos de color. Pueden diferenciarse hasta 200 tonos. La mínima diferencia de longitud de onda que puede apreciarse, se observa en el amarillo y en el azul verdoso.

2.3.5 Visión de Los Colores - Visión Fotópica y Escotópica

La apreciación de los colores se efectúa mediante la visión diurna, también llamada visión fotópica (atribuida a las células visuales denominadas conos).

Si se observa un espectro de baja intensidad habiendo sido el ojo adaptado a la oscuridad, los objetos se verán de color grisáceo con diferente brillo. Esta visión en la oscuridad se denomina visión escotópica y es realizada especialmente por función de los bastones.

El color de un objeto que se aleja del punto foveal del ojo puede ser apreciado hasta ciertos límites dentro de la retina periférica, y cada tonalidad del espectro tiene límites determinados dentro de esa retina hasta llegar a un punto en que no se pueden apreciar los colores.

2.3.6 Contraste

Este es otro factor que influye sobre la luminosidad, y depende de la intensidad de la luz en las zonas contiguas a la observada. Por lo general una región aparece más brillante si está rodeada de oscuridad y un determinado color aparece más intenso si

está rodeado de su color complementario. Un color es complementario de otro cuando al mezclarse producen el blanco.

La exaltación del contraste parece estar ligado a la importancia de las zonas marginales en la percepción. Aunque estos fenómenos se deben en gran parte a mecanismos retinianos, esto sugiere la intervención de los factores cerebrales centrales.

La luminosidad guarda relación con el color, ya que si se miran luces con la misma intensidad pero de diferente color, los que están situados en el extremo del espectro parecen menos brillantes que los del centro de éste. En consecuencia para que una señal luminosa de peligro sea claramente visible debe tener un color que corresponda a la parte central del espectro. Por ello, la norma internacional aceptada establece que este color sea el amarillo.

Contraste Cromático

Al colocar muy cerca dos superficies de color, la sensación cromática será mayor en tanto sea más fuerte la diferencia de la composición espectral de los colores, es decir, que el máximo efecto de contraste se presentará cuando los dos colores sean complementarios el uno del otro.

Si se mira con fijeza un color, los ojos tienden a adaptarse a él y a verlo como blanco. Si entonces, se mira otro color, la vista se encuentra en condiciones tales que tienden a adaptar el primer color con el segundo, es decir, a transformar éste último en el complementario del primero.

La buena o mala visibilidad de un color, generalmente es el resultado que se logre dar con el color del fondo. Los contrastes fuertes generalmente dan una visibilidad del color, y cuando se combinan colores parecidos, de contrastes escasos, esa visibilidad disminuye notablemente.

2.3.7 Deslumbramiento.

Es otra de las manifestaciones de la luz que puede presentarse de varias formas:

2.3.7.1 Deslumbramiento Directo

Se produce cuando los rayos de una determinada fuente luminosa impactan directamente en la retina del ojo, provocando fatiga visual y la reducción del grado de percepción de los objetos. Cuando esta luz es muy intensa, puede inducir a una ceguera temporal o permanente lo cual ocurre por ejemplo cuando miramos directamente al sol, o una luz de mucha intensidad. Cuando se trata de efectuar la

corrección lumínica de un local, debe evitarse que las fuentes de luz originen este tipo de deslumbramiento, lo cual se logra con la utilización de pantallas difusoras o elementos similares que impidan la captación directa de los rayos luminosos; como mínimo se recomienda, que en el caso de las bombilla incandescentes, el bulbo sea tratado con el proceso de esmerilado que torna la superficie del cristal de transparente a translúcido, consiguiendo así, que los rayos luminosos den una menor afectación visual.

2.3.7.2 Deslumbramiento Reflejado

Se obtiene cuando, sobre una superficie plana, lisa y abrillantada, incide un rayo luminoso, y el rayo reflejado con una cierta intensidad incide sobre el ojo del observador provocando el malestar visual; este efecto negativo se disminuye haciendo que la captación de los rayos luminosos sea por reflexión, o a través de superficies que tengan capacidad de absorber estos rayos.

2.3.7.3 Deslumbramiento Por Contraste

Se aprecia cuando en un fondo totalmente oscuro, se observa una fuente luminosa. Esta forma de captar los rayos luminosos, produce también, una gran incomodidad visual y la consiguiente dificultad de captar los objetos en forma normal. Un ejemplo

puede ser el caso de las luces plenas de un vehículo, durante el día no ocasiona mayor perturbación visual, pero si se mira en una noche oscura, habrá absoluta dificultad para distinguir los objetos, debida a la anulación visual por causa del deslumbramiento. Todos estos efectos deben tomarse en cuenta para que al efectuar un estudio lumínico, si se pretende destacar objetos claros, deberán estar ubicados en contornos oscuros, y si por lo contrario, se pretende hacer resaltar objetos oscuros, se le antepondrán objetos claros.

2.3.8 Brillo

Otro elemento fundamental para la visibilidad de señales y acondicionamiento cromático es el brillo.

El brillo es la propiedad de una sensación visual mediante la cual una fuente luminosa o una superficie parece que emite o refleja una cantidad mayor o menor de luz. El brillo es relativo, depende del estado de adaptación del ojo. Una fuente que emite una luminancia baja en un recinto muy bien iluminado da la sensación visual de poco brillo, pero si la misma fuente se observa en un cuarto oscuro dará la sensación de tener mucho brillo.

El brillo de un objeto, depende de la intensidad de luz que incide sobre él, y de la proporción de esa luz reflejada en la dirección del observador. Una superficie blanca tendrá un brillo mucho mayor que una superficie negra, cuando las dos reciben la misma iluminación. Sin embargo, mediante el uso de luminarias, se puede aumentar la iluminación de la superficie oscura hasta hacerla tan brillante como la blanca. Cuando más oscuro sea un objeto, mayor será la iluminación necesaria para obtener el mismo brillo y en circunstancias similares para obtener una agudeza visual igual.

3. LUZ ARTIFICIAL

3.1 IMPORTANCIA DE LA ILUMINACION

El fenómeno de la iluminación, se relaciona directamente con la comodidad y la agudeza visual. Para poder dar un adecuado ambiente psicológico, el nivel y la calidad de iluminación deben estar de acuerdo con el trabajo que se va a realizar.

Sin la adecuada iluminación, tanto en calidad como en cantidad, el recinto, que durante el día recibe la luz natural (el sol), en las horas de la noche, con una iluminación inadecuada se puede convertir en un lugar frío y sin vida. Una iluminación bien diseñada da un efecto de comodidad para las personas que se encuentren en él.

La iluminación interior puede estimular o deprimir, según nuestros gustos o las necesidades del trabajo; dispuesta inteligentemente crea una atmósfera especial y agradable.

Generalmente la luz artificial es un elemento útil, que nos permite trabajar, leer, o jugar después de la puesta del sol. En muchos casos la iluminación está tan mal diseñada, que no es posible escribir, leer, trabajar o disfrutar de un deporte sin la consiguiente fatiga nerviosa y ocular.

En consecuencia podemos anotar que una adecuada iluminación dará satisfacción y comodidad respecto a las necesidades que los seres humanos experimenten.

3.2 PROPIEDADES FOTOMETRICAS

3.2.1 Adaptación

Acomodación del ojo a las condiciones de luminancia o al color del campo visual. Esto resulta de un cambio en la sensibilidad del ojo a la luz.

3.2.2 Contraste

Fenómeno fisiológico de visión, resultante de la diferencia de luminancia de un objeto que se encuentra en el campo de visión del observador. El contraste 'C' se define como:

Las primeras son las que aparecen en la iluminación de un objeto con luz intensa desde un punto alejado, existiendo gran efecto de relieve; la segunda, es el resultado de iluminar un objeto con luz difusa, con menor efecto de relieve.

3.2.4 Deslumbramiento

Fenómeno de la visión en la que se experimenta una incomodidad o reducción en la capacidad para distinguir los objetos, o bien, los dos simultáneamente. Está dado por la repartición inadecuada de luminancias en el campo de visión o por el contraste excesivo de iluminación en el espacio y en el tiempo.

3.2.5 Ambiente Cromático

Se define como el efecto psicofísico que produce el color de la luz y los colores existentes en el espacio.

Los colores tienen una gran influencia en el estado de ánimo de las personas. Para un sitio de trabajo o cualquier recinto se debe tener en cuenta: la intensidad de la iluminación, el color de la luz, su reproducción cromática y los colores de los objetos en el espacio interior para que estén adaptados al trabajo que se va a desarrollar.

3.3 TIPOS DE FUENTES LUMINOSAS

La principal finalidad de una fuente luminosa es producir luz. La eficacia producida por una bombilla se expresa por la relación entre el flujo total (dado en lúmenes) y la potencia consumida por la bombilla (expresada en vatios). Una bombilla, como cualquier otro objeto se va 'envejeciendo', esto significa que con el tiempo va perdiendo una vida útil, porque va descendiendo su flujo luminoso inicial.

A continuación se analizan las fuentes luminosas más utilizadas, expresando sus ventajas, desventajas y aplicaciones.

3.3.1 Bombilla Incandescente

La bombilla incandescente produce radiación visible, infrarroja y ultravioleta mediante el paso de la corriente eléctrica a través de un hilo conductor denominado filamento, localizado dentro de un bulbo de vidrio que puede contener gas o estar al vacío. Ver figura No. 9.

La transformación de la energía eléctrica, se produce porque al pasar la corriente a través del filamento lo calienta llevándolo al estado de incandescencia y la energía eléctrica se transforma en energía lumínica, infrarroja y ultravioleta.

Hay bombillas incandescentes con atmósferas al vacío para potencias menores a 40 W. Y con atmósfera gaseosa (gases inertes) para potencias superiores de 40 W que le dan mayor eficacia a la bombilla. En la figura No. 10 podremos apreciar la distribución espectral para esta bombilla.

3.3.1.1 Características de la Bombilla Incandescente

- Su vida promedio es de 1000 horas.
- El flujo luminoso depende de la potencia; a mayor potencia, mayor flujo luminoso.
- La eficacia de la bombilla varía a medida que varía la potencia (del orden de los 10 a 25 Lum/W).
- Un aumento en la tensión del 5% sobre la tensión nominal ocasiona una disminución del 50% sobre la vida de la bombilla.
- Reproduce bien los colores de los objetos.
- Se puede encontrar en una gran variedad de tamaños, formas y acabados.

3.3.1.2 Ventajas

- La gran variedad de tamaños favorece el control óptico.
- No necesita de accesorios auxiliares.
- Buena reproducción de los colores.
- Enciende y reenciende inmediatamente a su flujo total.

- Su costo inicial es realmente bajo.

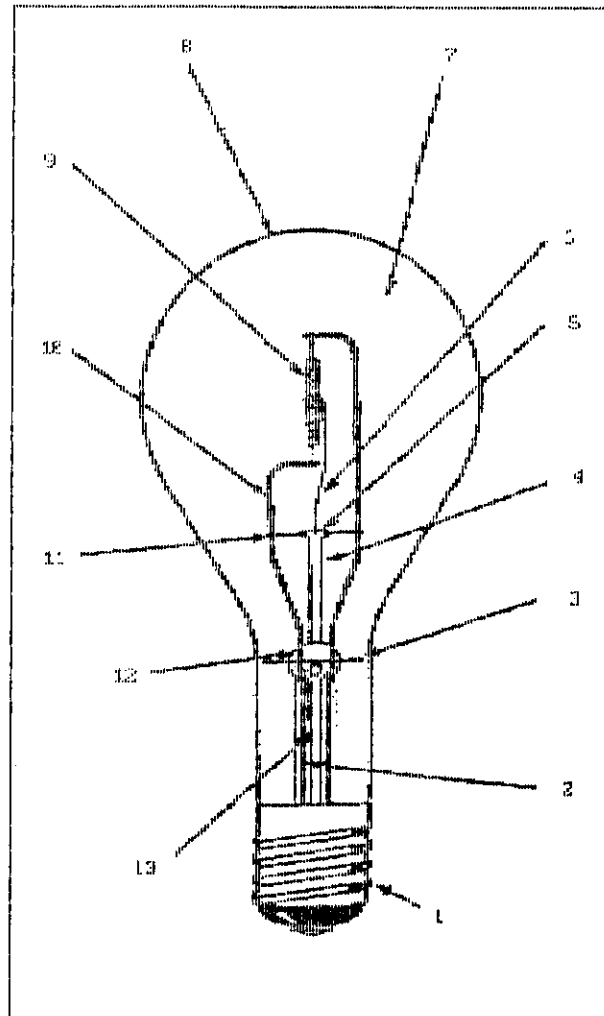


Figura No 9: Bombilla incandescente típica.

- | | |
|------------------------|---------------------------|
| 1. Base | 8. Bulbo |
| 2. Fusible | 9. Filamento |
| 3. Desviador de calor | 10. Hilos de toma |
| 4. Varilla del botón | 11. Alambres de retención |
| 5. Botón | 12. Prensado del tapón |
| 6. Alambres de soporte | 13. Tubo de vacío |
| 7. Gas | |

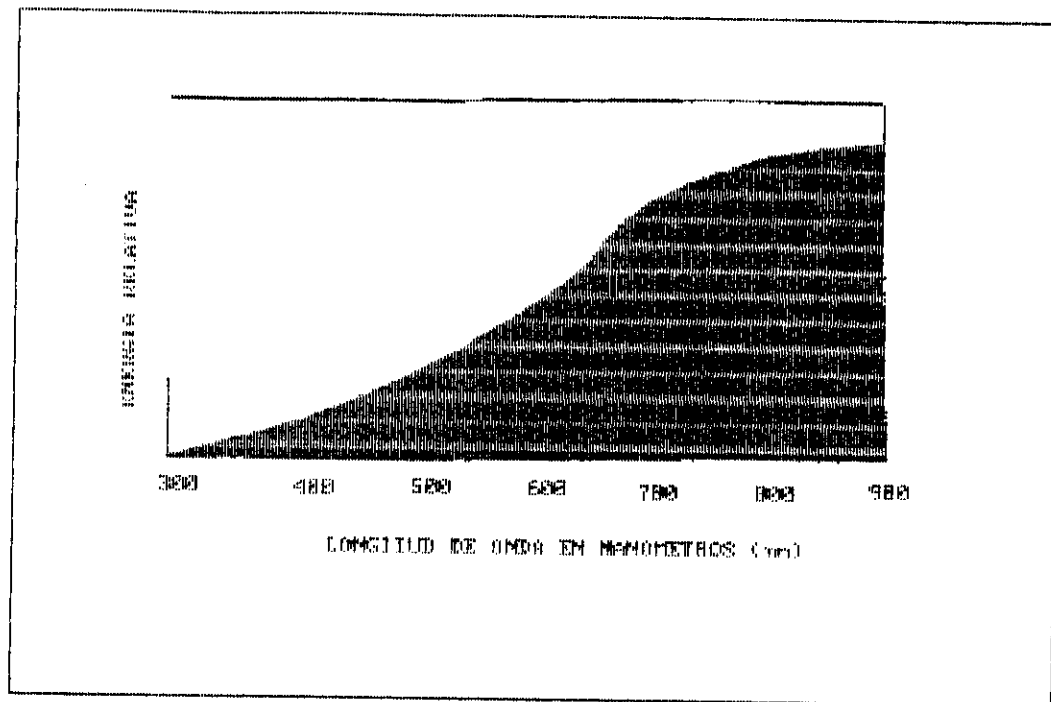


Figura No. 10 Distribución espectral de la bombilla incandescente.

3.3.1.3 Desventajas

- Fuente de menor eficacia comparada con las de descarga.
- Promedio de vida muy corto.
- Produce gran radiación calórica.
- Muy sensible a variaciones de tensión en la red.
- Costo de mantenimiento alto debido a su baja eficacia y corta vida.

3.3.1.4 Aplicaciones

Se utiliza principalmente en alumbrado residencial, alumbrado decorativo, escenarios deportivos, centros comerciales, farolas de auto, equipo de proyección, teatro, cine, etc.

Bombilla Incandescente Halógena

La bombilla incandescente halógena es similar, en muchos aspectos, a la bombilla incandescente convencional, con varias características comunes de funcionamiento.

Tiene la ventaja de mantener su rendimiento lumínico inicial durante toda su vida. Su bulbo no se ennegrece y permanece limpio, y posee una excelente discriminación policromática.

Otra ventaja está dada por su mayor duración con respecto a la bombilla incandescente, ya que a la misma potencia y con el mismo rendimiento lumínico, la duplica. Además, las bombillas incandescentes halógenas son más compactas que las incandescentes convencionales.

La bombillas a utilizar en diferentes áreas de la medicina donde se necesite excelente reproducción cromática como: salas de parto, quirófanos, salas de recuperación, laboratorios, salas de radiación, salas de reconocimiento y tratamiento oftalmológico, y clínicas dentistas, son en su mayoría INCANDESCENTE HALOGENA.

3.3.2 Bombillas de Descarga

Se denominan así a las fuentes luminosas donde la luz se origina a través de una descarga eléctrica en un medio gaseoso.

Las bombillas de descarga poseen dos bulbos, uno interior que genera la descarga y otro exterior que le sirve de protección. Para su funcionamiento necesitan de una serie de accesorios eléctricos, constituidos principalmente por balasto, condensador y en algunos casos arrancador.

Dentro de las clases de bombillas de descarga podemos mencionar: mercurio alta presión, sodio alta y baja presión, haluros metálicos y fluorescentes.

3.3.3 Bombilla de Vapor de Mercurio Alta Presión

Como su nombre lo indica, su elemento principal es el mercurio. La descarga eléctrica se producen en el medio gaseoso, creado por el mercurio vaporizado y una mezcla de neón y argón.

La bombilla consta de dos bulbos, el bulbo interior llamado 'tubo de arco' se fabrica en cristal de cuarzo, allí se encuentran: el vapor de mercurio, neón, argón y los electrodos principales y auxiliares. El bulbo exterior contiene comúnmente nitrógeno que sirve de protección contra el deterioro y la corrosión. Ver figura No. 11.

Para su funcionamiento, necesita de un balasto; elemento que debe ser debidamente seleccionado de acuerdo con la potencia de la bombilla y la tensión de la red. Este balasto es necesario, para controlar la corriente nominal de la bombilla.

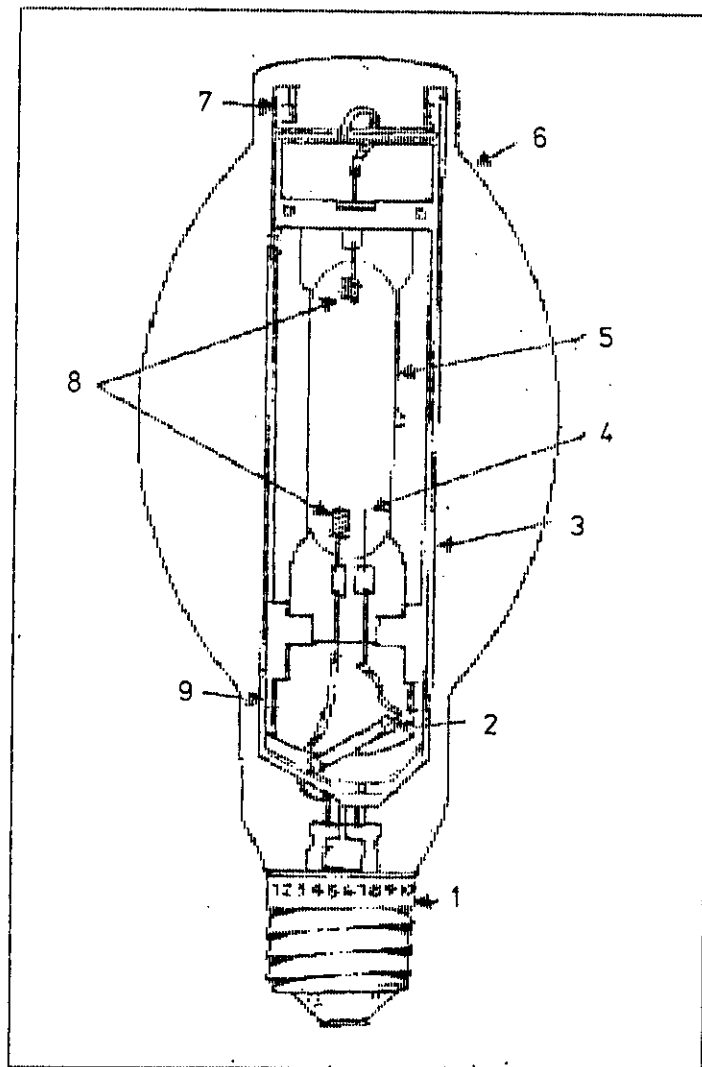


Figura No 11: Partes básicas de la bombilla de vapor de mercurio.

Especificaciones de la figura No. 11:

1. Base Mecanica de Bronce Niquelado
2. Resistor de Larga Vida
3. Marco de Montaje del Tubo de Arco
4. Electrodo de Arranque
5. Tubo de Arco
6. Bulbo de Vidrio
7. Soporte de Montaje del Domo
8. Electrodo de Operacion Trimetálico
9. Soporte de Montaje del Cuello

El voltaje de red, se aplica en los extremos del tubo de arco donde se encuentran los electrodos de operación (o principales), y también entre el electrodo de operación y el electrodo auxiliar de arranque. Inicialmente la ionización del gas argón se logra mediante una descarga localizada entre el electrodo principal y el auxiliar; al aumentar la temperatura debido al arco, lentamente se vaporiza el mercurio y se produce una descarga entre los electrodos de operación que calientan rápidamente la bombilla hasta alcanzar una condición estable y producir su flujo luminoso total. En la figura No. 12 podemos ver el circuito eléctrico.

3.3.3.1 Características

- Su eficacia es aproximadamente tres veces mayor que la de la bombilla incandescente, con variedad entre 30 y 65 Lum/W, (dependiendo de la potencia y el acabado de la bombilla).
- Tienen una vida promedio de 24000 horas.

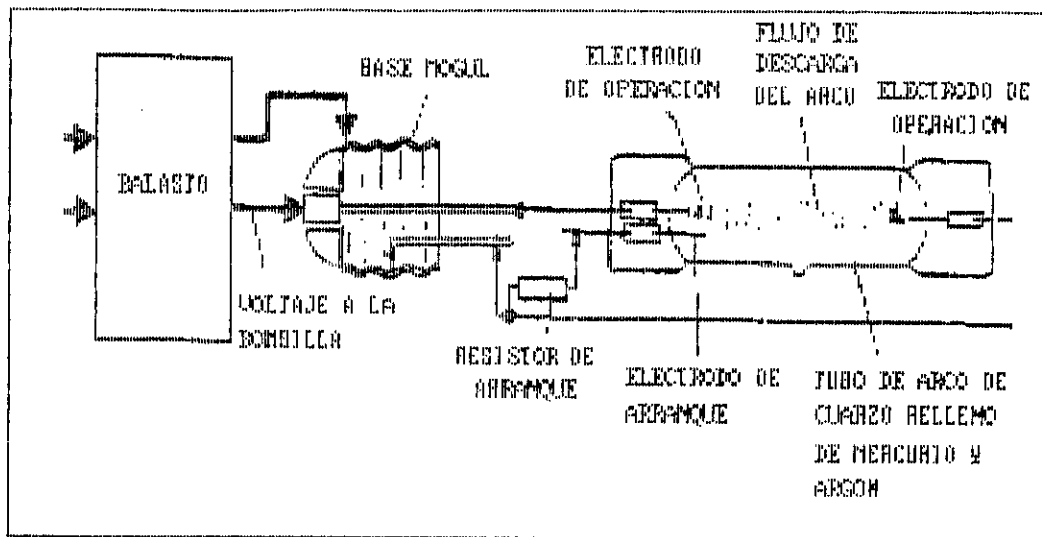


Figura No 12: Circuito eléctrico de una bombilla de vapor de mercurio.

- El bulbo interior (en cuarzo) transmite todas las longitudes de onda, pero el bulbo exterior absorbe las longitudes de onda menores de 300 nm, dejando pasar la luz visible y la ultravioleta cercana a la radiación visible.
- Tiene un revestimiento de fósforo (en el bulbo externo) que contribuye a mejorar el color de su radiación y en un comienzo puede llegar a aumentar su flujo.
- El balasto debe escogerse teniendo en cuenta la tensión real de la red de alimentación.

3.3.3.2 Ventajas

- Larga vida, aproximadamente 24 veces mayor que la bombilla incandescente.
- Eficacia del orden de 60 Lum/W.
- Bajo costo de mantenimiento debido a su buena eficacia y a su larga vida.
- Posición de operación universal.

En la figura No. 13 se muestra la distribución espectral de la bombilla de mercurio.

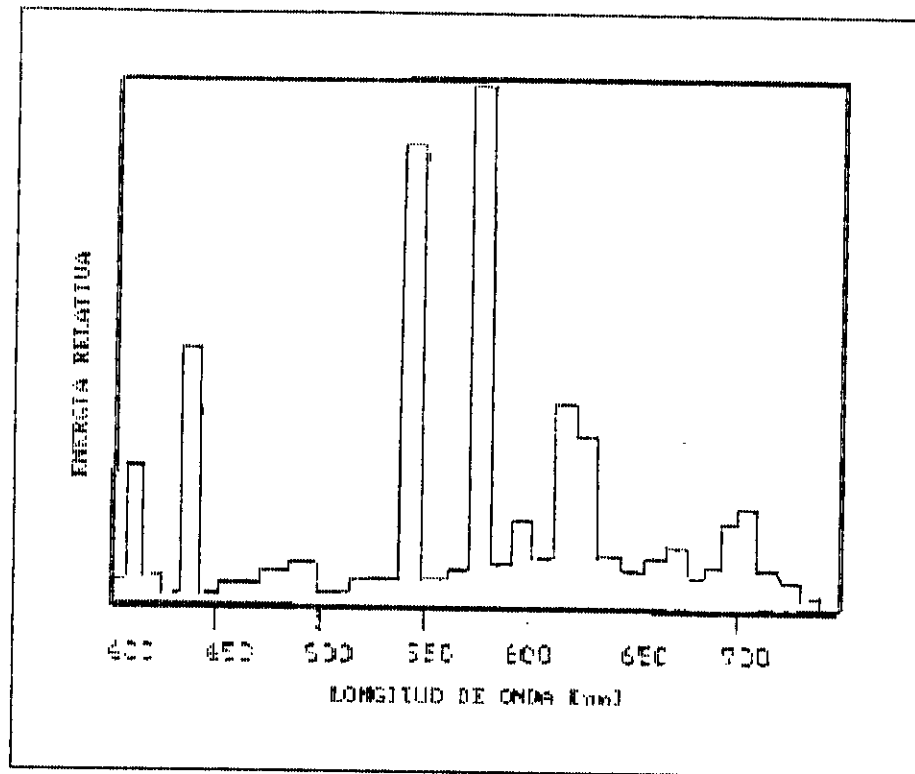


Figura No. 13 Distribución espectral de la bombilla de vapor de mercurio.

3.3.3.3 Desventajas

- Necesita de un periodo de encendido de 3 a 5 minutos para llegar a su flujo luminoso total y un periodo de reencendido de unos 10 minutos.
- Necesita como accesorios eléctricos: balasto y condensador.
- Costo inicial alto.
- No reproduce bien los colores.

3.3.3.4 Aplicaciones

Se recomienda utilizar esta bombilla en vías públicas, alumbrado industrial donde no se necesite reproducción de color, zonas verdes, parques, áreas deportivas, bodegas y áreas de almacenamiento.

3.3.4 Bombilla de Luz Mixta

Este es un tipo de bombilla de vapor de mercurio, conectado en serie con un filamento de tungsteno. Este filamento actúa como fuente incandescente y balasto para estabilizar la descarga del tubo y poderse conectar directamente a la red.

Esta bombilla reemplaza a la incandescente, debido a que su vida promedio es 6 veces mayor, y su luminosidad es superior en un 10% con respecto a la bombilla incandescente.

Entre sus aplicaciones, podemos mencionar parqueaderos, alumbrado público, fábricas, etc. Pero su costo de mantenimiento es muy alto y su eficacia es muy baja comparada con las otras fuentes de descarga.

3.3.5 Bombilla de Vapor de Sodio Alta Presión

Su elemento principal es el sodio, aunque también posee otros elementos como mercurio (para corregir el color y controlar el voltaje) y xenón (para mejorar el flujo luminoso y dar inicio a la secuencia de arranque).

La luz se produce mediante el paso de la corriente eléctrica a través del vapor de sodio, a una presión determinada y altas temperaturas. El tubo de arco (tubo interior) es largo y estrecho para lograr su máxima eficacia y debido a su pequeño diámetro no utiliza electrodos de arranque. Para facilitar la ignición inicial se utiliza el xenón. El arranque se efectúa por medio de un circuito electrónico, que suministra un pulso de alto voltaje. Este pulso tiene la suficiente amplitud y duración para ionizar el xenón e iniciar así el proceso de arranque de la bombilla. Ver figura No. 14.

El balasto por su parte tiene la función de limitar la corriente de operación de la bombilla y regular su potencia en función de la propia bombilla y de la red.

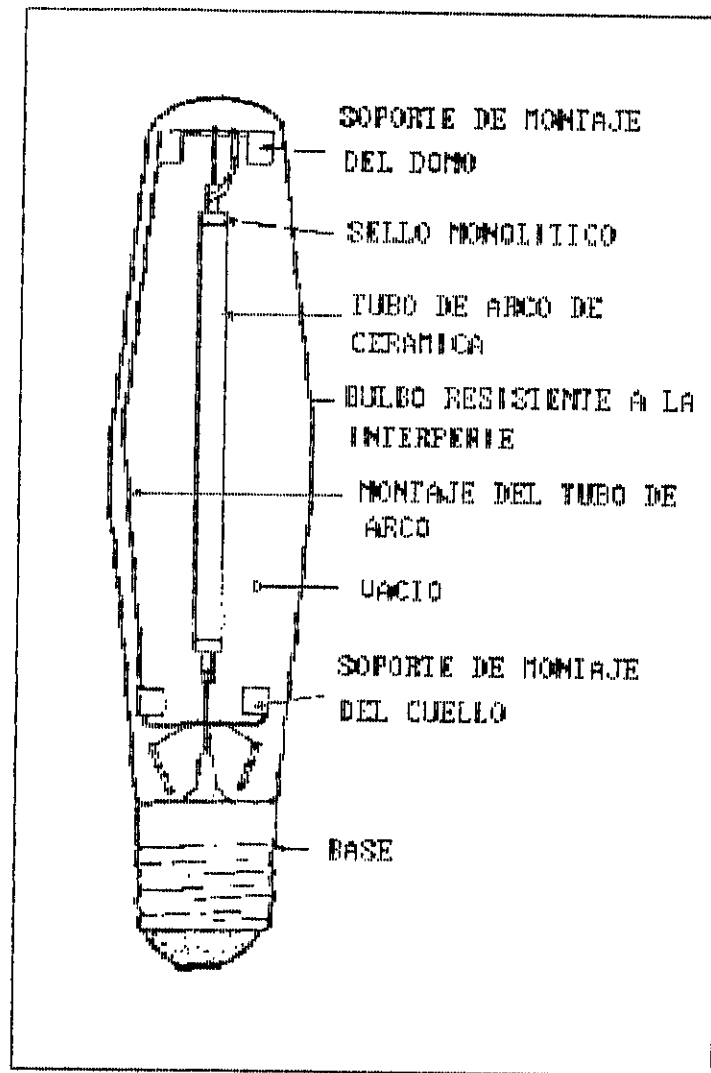


Figura No 14: Componentes básicos de la bombilla de vapor de sodio.

3.3.5.1 Características

- Su eficacia es aproximadamente el doble que la de mercurio (120 Lum/W).
- Tiene una vida promedio de 24000 horas.
- No atrae los insectos debido a su baja producción de radiación ultravioleta.

- La bombilla tubular, se utiliza principalmente en alumbrado de exteriores.
- La bombilla ovoide fosforada se recomienda en alumbrado de interiores para ayudar a controlar el deslumbramiento.

3.3.5.2 Ventajas

- Tiene una elevada eficacia luminosa.
- Junto con la de mercurio es la de más alta vida, 24000 horas.
- Costo de mantenimiento bajo, debido a su gran eficacia y larga vida.
- El tiempo de reencendido es corto (aproximadamente 1 minuto).
- Si se utiliza la bombilla tubular clara, permite un buen control óptico.

En la figura No. 15 podremos apreciar la distribución espectral de la bombilla de sodio alta presión.

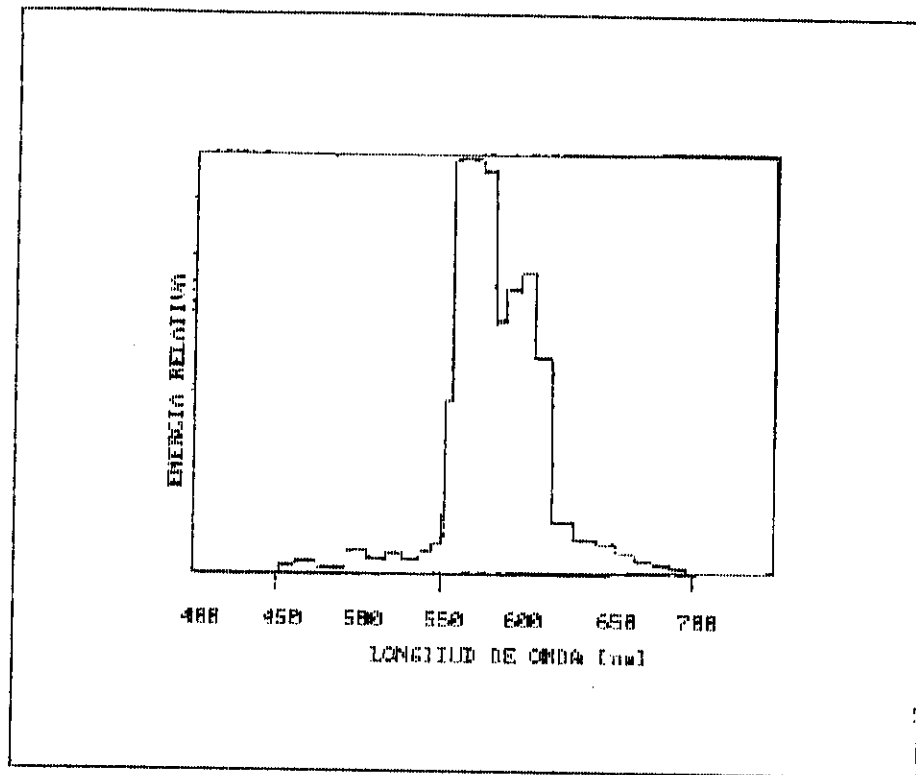


Figura No. 15 Distribución espectral de la bombilla de Sodio Alta Presión.

3.3.5.3 Desventajas

- No reproduce bien los colores.
- El periodo de arranque dura aproximadamente 3 a 5 minutos.
- Necesita como accesorios auxiliares: balasto, condensador y arrancador.
- Costo inicial alto.

3.3.5.4 Aplicaciones

Se utiliza principalmente en alumbrado público, fachadas (en piedra o ladrillo), parqueaderos, sitios de almacenamiento y en general en todo tipo de alumbrado

exteriores y en alumbrado de fábricas o industrias cuando la definición de colores no es requerida.

3.3.6 Bombilla de Vapor de Sodio Baja Presión

Las bombillas de sodio baja presión tienen la más alta eficiencia luminosa (lum/W) y esta ha sido su característica más destacado.

Existen diferentes razones que proporcionan su alta eficiencia. Una de ellas es que utilizando el sodio baja presión se logra una gran eficiencia en la conversión de energía eléctrica en energía luminosa. Para obtener esta eficacia se debe garantizar un buen control térmico dentro de la bombilla. Para poder minimizar las pérdidas térmicas (IR), el interior de la ampolla exterior esta cubierto de una capa homogénea de óxido de indio. Esta capa limita la trasmision de calor (IR) y lo refleja muy eficazmente en el tubo de descarga.

Una segunda razón está dada por la distribución de energía espectral, la línea producida por el sodio a baja presión se encuentra muy cerca al valor máximo de la curva de sensibilidad del ojo. El ojo humano tiene la mayor sensibilidad a la radiación visible en la línea de 555 nm (680 lúm/W). Las bombillas de sodio baja presión tienen un espectro monocromático en la línea de 589 nm. Significando que

toda la energía se concentra en una línea próxima a la cresta de la curva de sensibilidad del ojo humano. Su distribución espectral se aprecia en la figura No. 16.

Para obtener las condiciones óptimas de la presión del vapor - importante para asegurar la alta eficacia luminosa - se requiere una temperatura de funcionamiento de 260 grados centígrados, distribuida uniformemente sobre el tubo de descarga. Esto se obtiene, por una parte, mediante un aislamiento térmico bien equilibrado y, por otra parte, mediante la utilización de hoyuelos proporcionado por la capa de óxido de indio en el tubo de descarga.

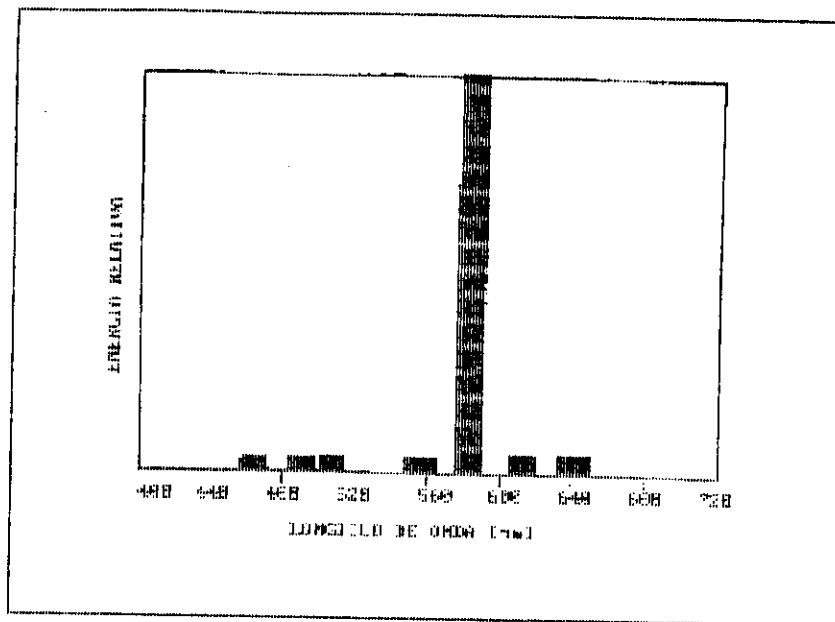


Figura No. 16 Distribución espectral de la bombilla de Sodio baja presión.

El sodio se distribuye por igual sobre todos los hoyuelos, resultando en un esquema uniforme de puntos fríos, ajustándose a su vez, la presión de vapor. Podemos apreciar la bombilla de sodio baja presión en la figura No. 17.

3.3.6.1 Características

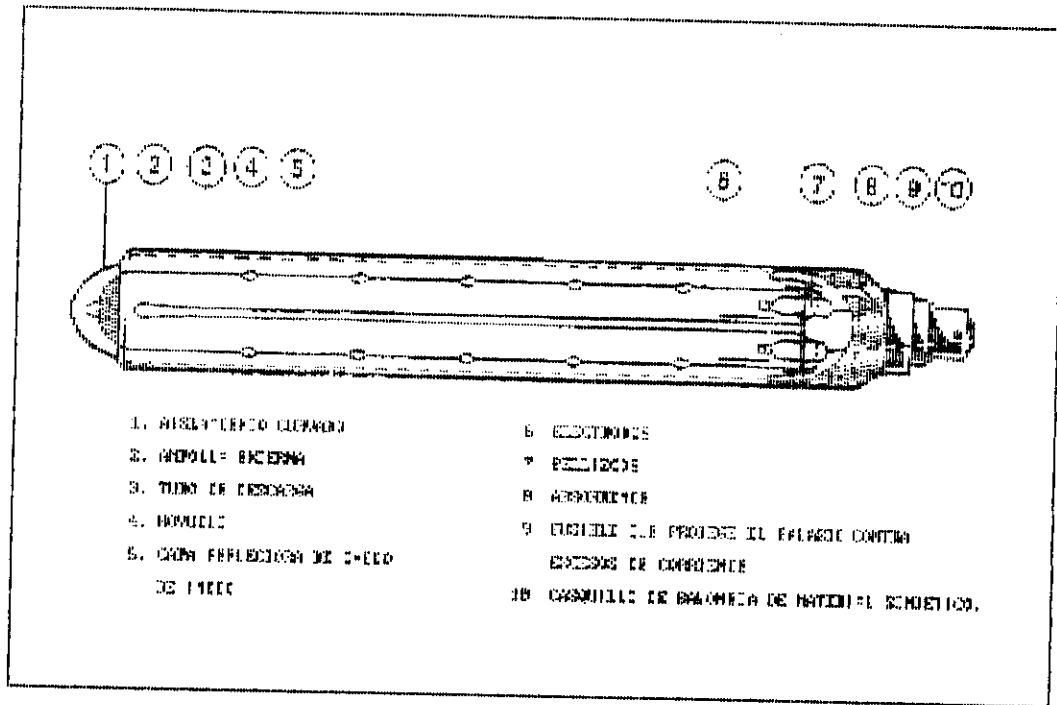
- Los hoyuelos y el aislamiento curvado, combinados con la capa homogénea de óxido de indio, hace que exista un buen mantenimiento de lúmenes y un buen mantenimiento de la eficacia.
- Tiene una eficacia luminosa de aproximadamente 200 lm/W.

- La temperatura de la ampolla externa es de aproximadamente 70 grados centígrados. En una luminara abierta, esta temperatura hace que la bombilla esté protegida contra salpicaduras; en una luminaria cerrada, tiene la ventaja de que produce menor atracción de humedad y polvo.
- La luz monocromática de las bombillas de sodio baja presión proporciona la más nítida formación de las imágenes en la retina. Debido a esta mejor formación de imagen, se obtiene mejor agudeza visual.
- Con bombillas de sodio baja presión, los contrastes entre los objetos en movimiento y estacionarios se detectan más rápidamente que con otro tipo de luz (velocidad de percepción). Aumentando la seguridad en el tráfico de carreteras.
- Para su funcionamiento necesita balasto y condensador. En ciertos circuitos requiere también un arrancador.
- Su radiación se caracteriza por ser monocromática en la región del amarillo.

3.3.6.2 Ventajas

- Tiene la más alta eficacia luminosa de todas las fuente luminosas utilizadas actualmente.
- Nítida percepción de imagen (aberración cromática) y consecuentemente mejor agudeza visual.
- Marcado contraste.
- Baja luminancia.

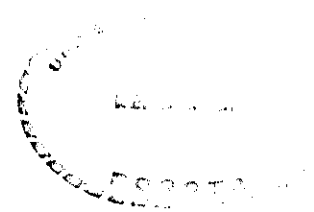
- Poco deslumbramiento.
- Baja temperatura de la luminaria.
- Mayor velocidad de percepción.



Ilustr. 17 Bombilla de vapor de sodio baja presión.

3.3.6.3 Aplicaciones

La bombilla de sodio baja presión se utiliza en alumbrado público, especialmente en iluminación de autopistas, alumbrado secundario (cruces de ferrocarril, estaciones de clasificación, aeropuertos, muelles, etc.). Alumbrados de seguridad como cárceles, almacenes, garajes, etc.)



3.3.7 Bombilla de Haluros Metálicos

Esta bombilla contiene mercurio, neón, argón y halógenos en forma de yoduros distribuidos así:

- Si es una bombilla Europea (denominada Mercurio Halógeno) son: indio, talio y sodio.
- Si es una bombilla americana (denominada Metal-Arc) son: torio, sodio, escandio y tierras raras.

La luz se obtiene mediante una descarga eléctrica entre dos electrodos principales existentes en el tubo de descarga. Mediante la ayuda de los gases de xenón y argón va a aumentarse la temperatura en el momento de encendido, evaporando así el mercurio y los tres yoduros. Se produce de esta forma, radiación lumínica en la parte visible del espectro. En la figura No. 18 podemos apreciar la bombilla de metal halide y sus partes.

3.3.7.1 Características

- Vida promedio de 12000 a 16000 horas.
- Reproduce muy bien los colores de los objetos.
- Tiene una posición de funcionamiento diferente según el tipo de bombilla.

B.U.=Base arriba

B.D.=Base abajo

Hor = Horizontal

U = Universal

- Su eficacia del orden de 70 Lum/W está en un valor entre la de mercurio y sodio.

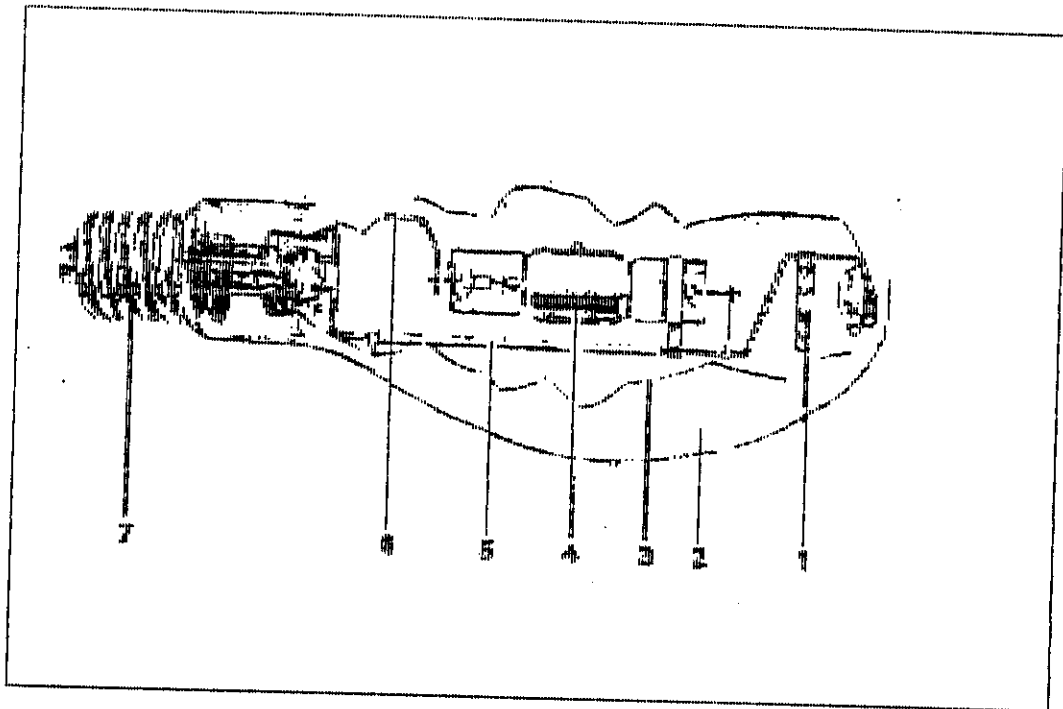
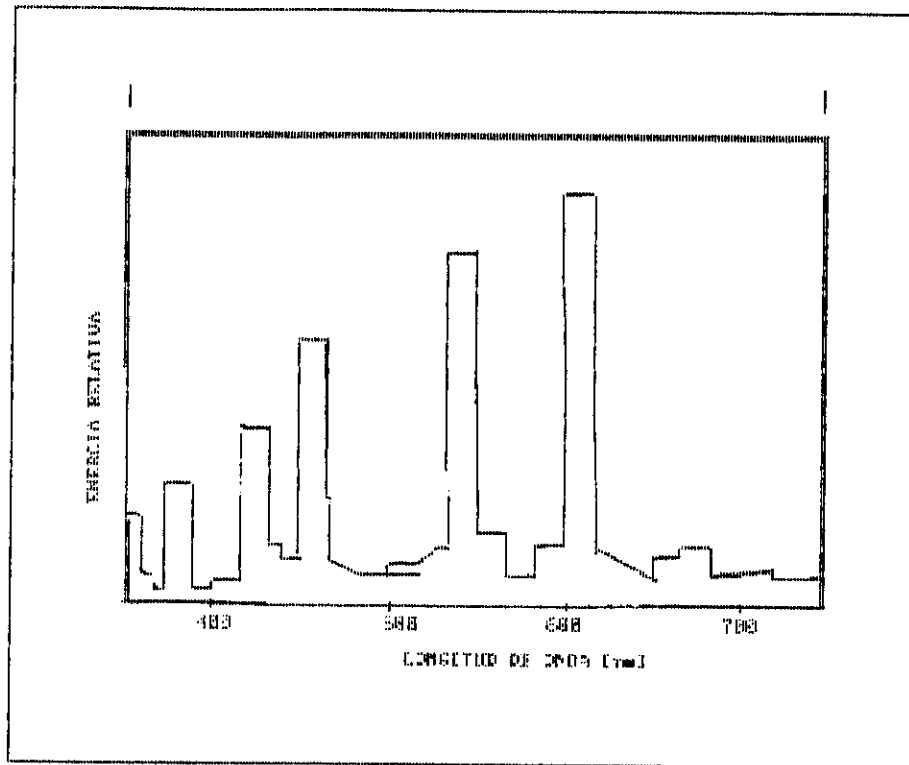


Figura No 18: Bombilla de Metal halide.

Especificaciones de la figura No. 18:

1. Aro para Asegurar Maxima eficacia
2. Bulbo Exterior
3. Capa Interna de Fósforo
4. Tubo de Cuarzo
5. Soporte de Protección
6. Soporte de Alambre
7. Base

En la figura No. 19 se puede apreciar la distribución espectral de esta bombilla.



Ilustr. 19 Distribución espectral de la Bombilla Metal Halide.

3.3.7.2 Ventajas

- Después de la bombilla incandescente, es la que mejor reproduce los colores.
- Alta eficacia si se compara con la bombilla incandescente.
- Mediano promedio de vida.
- Costo de mantenimiento no muy alto.

3.3.7.3 Desventajas

- Necesita accesorios eléctricos.
- Alto costo inicial.
- Es importante la posición de funcionamiento.
- Necesita un periodo de encendido de 5 min. aproximadamente y de reencendido de 15 min.

3.3.7.4 Aplicaciones

Se utiliza en lugares donde se necesite reproducción de colores, como supermercados, fábricas de textiles, iluminación deportiva, iluminación industrial, centros comerciales, etc.

3.3.8 Bombillas Fluorescentes

Existen diversas formas y tamaños de una bombilla fluorescente; pero los más usados son en forma tubular con un electrodo denominado 'cátodo incandescente' y una base existente en cada extremo del tubo. Entre sus componentes están: el mercurio, una pequeña cantidad de gas argón o una mezcla de gases inertes, y un revestimiento de fósforo.

La bombilla fluorescente, es una fuente de descarga eléctrica que utiliza la energía ultravioleta generada a alta eficiencia por un vapor de mercurio en un gas inerte (argón, criptón o neón) a baja presión, para activar un revestimiento de material fluorescente (fósforo) existente en la superficie interna del tubo de vidrio, que sirve simplemente para convertir la radiación ultravioleta en radiación visible (luz).

Al encender un tubo fluorescente, el paso de la corriente eléctrica a través de los electrodos hace que éstos se calienten y liberen electrones. Estos al viajar a gran velocidad producen una descarga eléctrica o arco a través del vapor de mercurio. Este arco produce luz visible y ultravioleta. El fósforo por su parte tiene la propiedad de absorber la radiación ultravioleta y volverla a irradiar como luz visible. Ver figura No. 20.

Entre los tipos de bombillas fluorescentes podemos encontrar: BLANCO CALIDO, su nombre se debe a que posee gran cantidad de radiación roja, haciendo que se parezca a la bombilla incandescente; BLANCO NORMAL, es la bombilla fluorescente más común, por lo que es muy utilizada; LUZ DIA, este tipo de bombilla es muy utilizado donde se necesite gran reproducción de color; trata de reemplazar la luz natural.

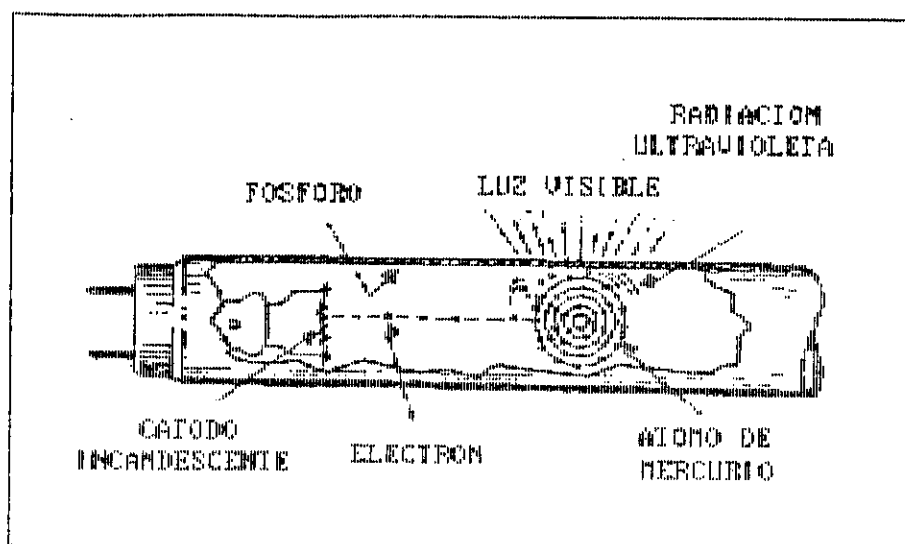
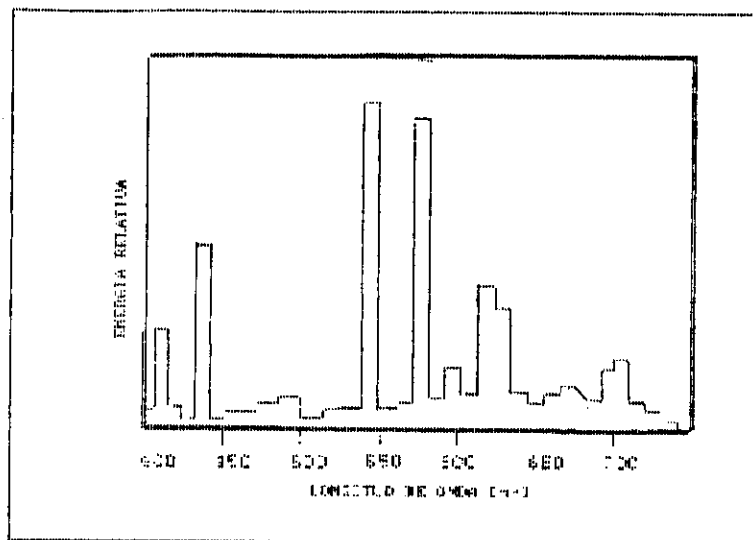


Figura No 20: Forma en que se produce la luz en una bombilla fluorescente típica de cátodo incandescente.

En la figura No. 21 apreciaremos la distribución espectral de los tubos fluorescentes.

3.3.8.1 Características

- Tiene una eficacia promedio de 40 a 90 Lum/W.
- El periodo de vida de la bombilla depende de la calidad del balasto. Con un buen balasto puede durar entre 8000 y 10000 horas.
- El 90% de su radiación es ultravioleta, transformándola a visible mediante el revestimiento de fósforo.



Ilustr. 21 Distribución Espectral de la bombilla fluorescente

3.3.8.2 Ventajas

- Tiene una moderada eficacia.
- Bajo brillo (bajo deslumbramiento).
- Su forma alargada.
- Por su bajo brillo se utiliza en iluminaciones de baja altura.
- Buena reproducción del color, dependiendo del tipo de tubo que se escoja.
- Tiempo de encendido, existen tres tipos de tubos: precalentados, de encendido rápido y de encendido instantáneo.

3.3.8.3 Desventajas

- Alto costo de mantenimiento.
- Necesita accesorios eléctricos.

- Vida relativamente corta.
- La vida depende del ciclo de encendido.
- Por su tamaño alargado, necesita de gran espacio para su instalación.

3.3.8.4 Aplicaciones

Se utiliza principalmente para la iluminación de oficinas, recintos escolares, universidades, laboratorios y en general lugares de baja altura.

3.3.9 Bombillas Especiales para Procesos Industriales

En el espectro de la radiación electromagnética, solamente una pequeña porción de ésta se representa por la zona de radiación visible, la que tiene unas longitudes de onda comprendidas entre 380 y 760 nm. Esta zona está limitada por radiaciones ultravioleta inferiores a 380 nm y por radiaciones infrarrojas superiores a 760 nm.

La zona ultravioleta para aplicaciones prácticas se encuentra entre las longitudes de onda de 380 nm y 100 nm y la zona de infrarrojos, entre 760 nm y 10_{E6} nm.

3.3.9.1 Fuentes de radiación ultravioleta

Las lámparas empleadas como fuentes de radiación UV son principalmente lámparas de descarga. Los filamentos de las lámparas no son muy adecuados, puesto que su espectro contiene cantidades relativamente pequeñas de UV.

El rango de las lámparas de UV disponible es extenso, pero los siguientes tipos son particularmente valiosos para mencionar.

Lámparas actínicas 'TL'

Las lámparas actínicas son tubulares, lámparas de mercurio de baja presión cubiertas por dentro con una capa fluorescentes que transforma la energía ultravioleta de onda corta del arco en radiación actínica útil. El punto extremo de radiación se encuentra a los 370 nm o a los 420 nm, dependiendo del tipo de lámpara (e.g. TL 03, TL 05 o TL 09).

Las dimensiones y características eléctricas de las lámparas actínicas TL son idénticas a las lámparas estándares TL de la misma clasificación. Los balastros y otros accesorios son comunes a ambos tipos de lámparas.

La lámpara actínica es una fuente altamente eficiente de radiación UV de onda larga y es usada para varios procesos fotoquímicos, fototerapia médica, copiado de documentos y reprografía (sistemas diazo).

Lámparas de luz negra. Las lámparas de luz negra dan una salida máxima en la banda de longitud de onda entre 350 y 370 nm. La salida de luz visible es eliminada efectivamente haciendo la bombilla de cristal Wood. El cristal Wood es un color púrpura-azul oscuro y absorbe casi toda la radiación visible pero transmite la ultravioleta. La radiación emitida por estas lámparas es completamente inofensiva a los ojos y piel. La luz negra son distribuidas por Philips en estas presentaciones:

'TL' Fluorescente. Es una lámpara tubular, de vapor de mercurio a baja presión. Una capa especial de polvo fluorescente al interior del tubo convierte la energía existente en el arco de vapor de mercurio en ultravioleta de onda larga con un punto máximo de emisión a los 350 nm.

HPW-125 W. La lámpara HPW de luz negra es una lámpara de vapor de mercurio a alta presión que consiste de un tubo de descarga de cuarzo al exterior, una bombilla en forma de pera de cristal Wood. El punto máximo de salida se encuentra aproximadamente a los 365 nm.

TW-6 W. Esta lámpara de luz negra trabaja sobre el principio de descarga de brillo. A diferencia de los tipos mencionados anteriormente, esta lámpara puede ser operada directamente desde el control principal (donde el voltaje de salida es de 220 V) sin la ayuda de balastos. El punto máximo de salida se encuentra aproximadamente a los 350 nm.

Las lámparas de luz negra se usan para la excitación de fenómenos de luminiscencia, volviendo así visibles algunas sustancias, impurezas y defectos que de otra manera permanecerían invisibles. Las áreas principales de aplicación de estas lámparas UV-A son: análisis y detección en química e industrias textiles; en el curado de tintas de impresión; producción de alimentos; filatelia; mineralogía; banca; criminalogía; medicina; trampas de insectos; e iluminación decorativa en el campo del entretenimiento.

Lámparas solares. Dado que la energía ultravioleta eritémica es producida por la luz del sol, los dispositivos diseñados para proporcionar radiación en esta región del espectro son comúnmente conocidos como lámparas solares. La lámpara solar MLU-300 W de Philips es una lámpara de mercurio de tungsteno. El filamento interno actúa como un dispositivo limitante de corriente y consecuentemente esta lámpara puede ser operada directa desde los controles principales sin ayuda de balastos. Además, son emitidas la luz visible, la radiación ultravioleta fuerte y la radiación infrarroja. la

bombilla está hecho de cristal denso de manera que filtra hacia fuera la radiación inferior, a aproximadamente, los 280 nm. El reflector interno asegura un rayo homogéneo de energía radiante. Entre sus aplicaciones se incluyen: lámparas solares caseras; añejamiento de plásticos.

Lámparas germicidas. La fuente de radiación ultravioleta de onda corta en una lámpara germicida es un arco de vapor de mercurio a baja presión. El arco trabaja sobre el mismo principio que el arco de una lámpara fluorescente, y produce el mismo tipo de energía ultravioleta dentro del bombillo. La diferencia entre las dos es que la bombilla de la lámpara fluorescente está recubierta con un fósforo que convierte la luz ultravioleta en visible, mientras que la lámpara germicida no tiene fósforo, pero está hecha de un cristal especial que transmite la energía ultravioleta de onda corta generada por el arco. Aproximadamente 95% de la energía irradiada por una lámpara germicida TUV de Philips está en la longitud de onda de 253.7 nm, en la región en la cual la acción germicida es efectiva en más del 80 por ciento.

Las lámparas TUV son ampliamente usadas para la esterilización en hospitales, en cervecerías, cuartos fríos de almacenamiento, sistemas de aire acondicionado, etc.

Lámparas de Ozono. Las Lámparas de Ozono trabajan sobre el principio de descargas de vapor de mercurio. La bombilla está hecha de un cristal que transmite

tanto radiación producida por el ozono a 185 nm como un alto nivel de radiación germicida a 253,7 nm.

Algunas de las aplicaciones son:

Esterilización y desinfección. La esterilización es la total e irreversible muerte de todo micro-organismo. La desinfección es una fuerte reducción del número de micro-organismos presentes, de manera que no es posible una infección adicional. Los micro-organismos incluyen bacterias, levaduras, diferentes algas, protozoarios, mohos, esporas y virus. La muerte celular en el caso de los micro-organismos se refiere a la pérdida de la habilidad de crecer y multiplicarse; o en otros términos, la pérdida de la capacidad de división celular. Son aplicados diferentes métodos de desinfección y esterilización, los cuales incluyen la aplicación de rayos gamma y UV.

Efectos germicidas de la radiación UV. Una reacción constante de micro-organismos irradiados muere a cada incremento en el tiempo: la 'proporción de supervivencia' es así una función exponencial del tiempo de exposición y la intensidad de la radiación. Las cantidades están dadas en porcentaje, la irradiación esta expresada en una dosis (dosis = irradiación x tiempo de exposición) con unidades J/m^2 ($1 J = 1 Ws$). La dosis mínima requerida para los diferentes porcentajes de muerte (de 10% a 99,9%) se encuentran en tablas.

Desinfección del aire. Esta lleva a una apreciable reducción de micro-organismos aéreos en una habitación, puesto que el aire libre de micro-organismos es forzado de manera natural o por circulación forzada dentro de la región irradiada. La radiación tienen su máxima eficiencia para desinfección de aire cuando viaja la máxima distancia posible antes de ser absorbido por una superficie obstructora.

Pueden ser descritos cuatro métodos básicos que usan lámparas germicidas: irradiación de aire general, irradiación de aire superior, irradiación a la zona del piso, e irradiación por ductos de aire.

Irradiación de aire general, empleando lámparas de techo. En aquellos lugares donde el lugar está desocupado o los ocupantes pueden tomar medidas de protección.

Irradiación de aire superior, empleando equipo montado en la pared o el techo con un reflector de manera que ninguna radiación sea emitida abajo de los 2 metros horizontal al nivel del piso. Los ocupantes no pueden ser irradiados directamente. Las paredes o el techo deben ser de materiales absorbentes a longitudes de onda de 254 nm.

Irradiación a la zona del piso. método usado en combinación con la Irradiación de aire superior, en aquellos casos donde es importante que el aire entero del cuarto, aún a

nivel del piso, sea suministrado el ambiente más sanitario posible. Las lámparas deberán ser ubicadas en reflectores de dirección inclinada, montados aproximadamente a 60 cm del piso.

Irradiación por ductos de aire. Todo el aire que entra al área alimentada por el sistema de aire acondicionado está sujeto a la radiación. Dependiendo del número de lámparas instaladas y de la duración de la exposición, la esterilidad puede alcanzar un nivel teórico del 99,9%. Este tipo de esterilización puede solamente manejar aire infectado por bacterias, y la mayoría de mohos que tienen mayor resistencia al UV. Deben ser instalados filtros de polvo para prevenir que las lámparas sean ensuciadas lo cual reduciría considerablemente la efectividad de la radiación UV. Además, el número de lámparas requerido es directamente proporcional al área de la cercanía del ducto, la temperatura y humedad del aire, y las propiedades reflectivas de la cubierta de la pared al UV.

Desinfección de superficies. La desinfección y protección de superficies generalmente requiere de radiación UV de onda corta de alta intensidad. Esto implica el uso de un número de lámparas germicidas relativamente próximas a la superficie e instaladas en reflectores que dirijan la radiación en dirección a la superficie. El éxito de la desinfección de la superficie depende sobre todo de la consistencia del material a ser

desinfectado. La radiación UV puede inactivar solo aquellos micro-organismos a los que alcanza directamente.

Desinfección de Líquidos. La radiación germicida es capaz de penetrar en ciertos líquidos variando los grados de eficiencia. El uso de radiación germicidas para la desinfección de líquidos puede ser reconocida análoga a la aplicación de radiación germicida en la desinfección del aire, la eficiencia de su acción es proporcional a la transparencia del UV sobre el líquido en cuestión.

Las aplicaciones se encuentran en: Hospitales, producción de bebidas y alimentos (incluyendo empaques, almacenamiento y distribución), industrias farmacéuticas, protección animal y de aves, laboratorios, cuartos de descontaminación, purificación de agua.

Fototerapia médica. Se ha hallado por investigación médica que las lámparas 'TL' fluorescentes de Phillips, colores 03, 09 y 12, son muy adecuadas para aplicaciones fototerapéuticas. Pero naturalmente se deja a los doctores de la medicina juzgar los resultados y prescribir a sus pacientes las dosis de radiación en el tratamiento de diferentes enfermedades listadas delante.

Hiperbilirrubinemia. Este es un exceso de pigmento biliar enrojecido, la bilirrubina, en el suero sanguíneo. La bilirrubina es un producto de descomposición de la hemoglobina de las células rojas de la sangre. Los recién nacidos son particularmente susceptibles a las consecuencias de la hiperbilirrubinemia. Una caída violenta en los contenidos de bilirrubina suero pueden ser obtenidos por la fototerapia. La bilirrubina en solución es de color amarillo. Esto significa que el componente absorbe la luz azul complementaria, particularmente luz azul con longitudes de onda entre 400 y 490 nm.

Enfermedades de la piel. La irradiación artificial en las áreas de longitud de onda de UV-A y UV-B pueden tener una influencia benéfica en el tratamiento de enfermedades de la piel. ('TL' 09 para UV-A y 'TL' 12 para UV-B).

Aplicaciones industriales. Pueden ser mencionados dos sectores de aplicación principales: reprografía (reproducción de documentos), y curado en tintas y lacas.

Reprografía. Todas las actividades en las cuales las lámparas están involucradas para producir placas de impresión o para imprimir rollos de un original.

Curado ultravioleta de lacas y tintas. El poliéster fotopolimerizable o los sistemas acrílicos ofrecen al cliente los siguientes ventajas importantes:

- ° Tiempos de secado de lacas más cortos
- ° Las instalaciones de secado requieren menor espacio
- ° Componente único de lacas en vasijas con muy larga vida.

El endurecimiento ultravioleta de lacas y tintas puede ser considerado como el proceso de endurecimiento más usado hasta ahora:

- ° El endurecimiento es mucho más rápido que con cualquiera de los métodos actualmente
- ° Este rápido endurecimiento no requiere instalaciones grandes
- ° Ahorro de energía
- ° Contaminación del aire considerablemente menor

Otras aplicaciones son:

Copiado de documentos. Existen dos sistemas de copiado de documentos: el sistema diazo y el sistema electrostático.

Las máquinas de copiado de documentos diazo requieren originales transparentes: el área de aplicación es, por lo tanto, la oficina de dibujo. El sistema diazo se basa en el uso de radiación UV-A.

Las máquinas de copiado electrostático pueden ser clasificadas como copiadoras de papel planas (también conocidas como copiadoras xerográficas).

Uso cosmético de radiación UV. Son ejemplos el tratamiento de pigmentación y acné. El eritema lleva a la formación de nuevos pigmentos. Pero el eritema es una reacción inicial, lo cual significa que una cierta dosis es necesaria antes de obtener eritema. Los máximos de la curva de efectividad del eritema se encuentran a 296 nm., de modo que principalmente deben ser empleadas lámparas que emiten radiación UV-B.

El flujo de eritema es medido en E-vitones. La unidad de irradiación de eritema (o proporción de dosis) es el Finsen, que es igual a 1 E-viton/cm². Un E-viton es el flujo radiante requerido para producir el mismo efecto de eritema que 10 W de flujo radiante a 297 nm (máximo en la curva de efectividad del eritema). Conocida la energía de distribución de una lámpara solar, la salida total del eritema puede ser hallada multiplicando esta distribución por los valores correspondientes sobre la curva de efectividad del eritema.

3.3.9.2 Fuentes de radiación infrarroja

Hay tres grupos principales de lámparas de calentamiento infrarrojo eléctricas: de onda corta, de onda media y de onda larga.

Lámparas de onda corta. Estas son, básicamente, lámparas incandescentes con un filamento en espiral de tungsteno. Philips produce tres tipos de lámparas infrarrojas de calentamiento de onda corta:

Lámparas de bombilla inflada (Tipos IRR, 150, 250 y 375 watts); con una bombilla parabólico cubierto internamente con un medio reflectivo. Este reflector interno no puede ensuciarse o empañarse (mancharse) para mantener su eficiencia de luz a lo largo de la vida de la lámpara. Las lámparas son usadas en la industria, agricultura y con propósitos terapéuticos.

Lámparas de vidrio a presión. (Tipo PAR de 150 watts únicamente); con una bombilla parabólica de frente rojo. Utilizado para aliviar dolores musculares, y para otros tratamientos terapéuticos.

Lámparas de cuarzo tubulares. (Tipos IRK de 0,5; 1; 2; y 3 kW; Tipos IRH de 12 y 20 kW); una lámpara de halógeno de tungsteno, con una emboltura de cristal transparente. Las lámparas son resistentes a choques térmicos y son normalmente usadas en reflectores externos. La temperatura máxima alcanzable en un objeto para los IRK es de 600°C, y para las IRH es de 1200°C. Aplicaciones: en muchos procesos industriales, y recientemente también en exposiciones y masajes deportivos.

Estas lámparas tienen una temperatura de color de aproximadamente 2400 K (2800 K para lámparas terapéuticas). A esta temperatura se encuentra una buena relación entre la emisión espectral de la lámpara y la absorción espectral del destino, combinada con un tiempo de vida económico de más de 5000 horas de quemado. Estas lámparas de onda corta tienen una longitud de onda máxima al rededor de los 1200 nm, lo cual puede resultar en una emisión de cerca del 85 por ciento de la energía en la banda de ondas IR. Las lámparas tienen una respuesta inmediata al control (<1 seg).

Lámparas de onda media. La lámpara de onda media consiste de un tubo de cuarzo con una espiral de resistencia la cual es sostenida por el tubo de cuarzo. Normalmente la espiral está hecho de kanthal, una aleación de principalmente aluminio con un gran número de otros materiales. La longitud de onda máxima se encuentra al rededor de los 2600 nm, y la temperatura radiante entre 1100 y 1200 K. La eficiencia de emisión en las bandas de onda IR es del 60 al 65 por ciento. El tiempo de respuesta del control de la lámpara es del orden de 30 a 60 segs.

Lámparas de onda larga. Una versión consiste de una espiral de resistencia de alambre de níquel-cromo dentro de un tubo de metal. El espiral y el tubo están separados uno del otro por un polvo aislante (e.g. óxido de magnesio). La superficie del tubo de metal es la superficie radiante del emisor.

Otro tipo consiste de una resistencia de alambre de níquel-cromo, embebida en un material cerámico. En este caso la superficie cerámica constituye la superficie radiante.

La longitud de onda máxima se halla entre 3600 y 3800 nm., y la temperatura de radiación entre 700 y 800 K. La eficiencia de emisión es aproximadamente del 50 por ciento. El tiempo de respuesta de control de la lámpara es muy largo, normalmente de 5 a 10 minutos.

Algunas aplicaciones son:

Eficiencia en procesos de calentamiento

El intercambio de calor entre el irradiador y el destino es influenciado por:

- ° Las propiedades de reflexión de las superficies que le rodean (energía radiada secundaria).
- ° La temperatura ambiente y el movimiento del aire circundante (pérdidas por convección)
- ° Temperatura de las superficies circundantes (pérdidas de radiación)
- ° Temperatura de la superficie destino (auto-radiación).

La alta eficiencia puede ser lograda encerrando los procesos de calentamiento con paredes reflectantes. La auto-radiación es entonces vuelta a reflejar, lo cual es equivalente a una reducción en la cantidad de auto-radiación. El oro tiene el más alto

coeficiente de reflexión (>95 por ciento) para IR de onda corta, pero para propósitos industriales una aleación de aluminio altamente reflectante se acerca al ideal.

Unidades reflectoras. Las lámparas de calentamiento de cuarzo en el rango IRK son normalmente usadas en conjunción con una unidad reflectora para incrementar la eficiencia de calentamiento.

Philips produce dos tipos de unidades reflectoras, una parabólica y la otra elíptica en sección transversal. Las unidades parabólicas (tipos IGR/P) produce un rayo paralelo adecuado para el calentamiento de una superficie, mientras que las unidades elípticas (tipos IGR/E) producen un rayo enfocado adecuado para calentamiento lineal.

Ventilación y Enfriamiento. Las lámparas infrarrojas de calor son en la mayoría de los casos enfriadas para asegurar que la temperatura del extremo de la lámpara no excede la temperatura de trabajo especificada. Por encima de esta temperatura el esfuerzo térmico causado por el contacto entre el cristal de cuarzo y el listón de metal se hace crítico, y produce la reducción de la vida de trabajo de la lámpara. Tipos de enfriamiento:

Enfriamiento por aire (aire comprimido, ventilador), para temperaturas de objetos hasta de 600°C.

Enfriamiento por agua, para temperaturas de objetos entre 600°C y 1400°C.

Los requerimientos de enfriamiento por aire dependen ampliamente del diseño de las fuentes de calentamiento y de las condiciones de temperatura. La posición (vertical/horizontal) de la fuente es también importante.

En el caso de procesos de secado que involucren solventes que puedan causar explosiones, una ventilación satisfactoria es absolutamente necesaria.

Control del calor e Instalación. Las lámparas de calor infrarrojas son aplicadas en fuentes sencillas, en paneles y módulos, y en hornos. La configuración del calentador multi-unidad puede ser fácilmente adaptada para adecuarse a las necesidades de aplicaciones de cambios.

Pueden ser usados diferentes métodos de control del calentamiento. El método más simple es el de switcheo independiente de las lámparas en un banco (panel) de lámparas múltiples. Este método es particularmente útil para el control correcto de procesos transportados. Otras aplicaciones son: switcheo paralelo entre la fase y el neutro (4 niveles de control), transformadores variables y bobinas reductoras de intensidad.

Ventajas del calentamiento con infrarrojo:

Se presenta a continuación un resumen de las ventajas de las lámparas de calentamiento IR de onda corta en general y en procesos que usan hornos de calentamiento en particular:

Alta eficiencia. Eficiencia hasta de 85% para lámparas tubulares de cuarzo.

Respuesta rápida. Un tiempo de respuesta de menos de un segundo al encender o apagar; reacción inmediata al control de encendido.

Velocidad. La rata de transferencia de calor es extremadamente alta.

Flexibilidad y versatilidad. Los hornos pueden ser fácilmente contruidos o modificados para suplir diferentes necesidades.

Simplicidad. El rango de unidades reflectoras modulares puede ser fácilmente ensamblado en hornos de cualquier forma o tamaño.

Compactibilidad. Pueden ser contruidos hornos de alta intensidad que son pequeños, livianos y compactos (por lo tanto fácilmente transportables).

Limpieza. No hay productos de combustión asociados a este método de calentamiento.

Seguridad. Donde existen riesgos, las lámparas de calentamiento IR son más seguras.

Control Fácil. Métodos de switcheo simples.

Calentamiento radiante directo. La energía radiante no es absorbida por el aire.

Calentamiento programado. Las lámparas de calentamiento IR pueden ser controladas por métodos de calentamiento programados normales.

Control óptico preciso. IR, como la luz, puede ser enfocado de manera precisa.

Larga vida. Promedio de vida de 5000 horas de quemado.

Costos competitivos. Uso económico de energía.

Areas de aplicación:

Aplicaciones industriales. Calentamiento de masa, aplicaciones de horneado y secado incluyen: precalentamiento de componentes metálicos anterior a su procesamiento;

recocción de metales; templado de metales; calentamiento o fundido de soldadura; reducción para ajuste de componentes metálicos; suavizamiento, fundido o soldado de plásticos; precalentamiento de tableros de aislamiento anterior para taladrado; empaque, curado o endurecimiento de cementos y adhesivos; cubrimiento de listones; curado o montaje de llantas en caliente; procesamiento de alambres; suavizamiento de pendientes, betún y componentes aislantes; limpieza de pinturas; calentamiento de molduras antes o durante su forjado; tratamiento de calor en fábricas; curado de látex; copia termográfica; simulación de radiación solar; simulación de calentamiento quinetico; esmalte vitreo; cristalización de cerámicas; horneado de pinturas o superficies; secado de textiles, papel, tableros tarjeteros, etc.

Levantamiento de animales. El calentamiento infrarrojo ha sido más ventajoso en la crianza de aves, cerdos, equinos y vacas. También es adecuado para la aplicación en el apareamiento de perros, y en clínicas veterinarias, tiendas de mascotas y zoológicos.

Aplicaciones terapéuticas. La radiación infrarroja puede ser absorbida por la piel humana de manera que se genere calor. Si el IR penetra las capas más profundas de la piel, agranda los vasos sanguíneos, incrementando el flujo de sangre y linfa lo cual es benéfico en procesos curativos.

El IR de onda corta en la región de los 1000 nm tiene un efecto considerable al estimular este efecto de calentamiento; la lámpara IR para propósitos terapéuticos debe por lo tanto tener una temperatura de la espiral tal, que la cantidad óptima de energía radiante es emitida en la región de longitud de onda de 1000 nm (una temperatura de 2800 K). Las aplicaciones incluyen: tratamientos de reumatismo, lumbago, neuralgias, etc.

Otras aplicaciones: secado de carnes; asado y rostizado de alimentos; y calentamiento de piscinas.

3.4 EFECTO FLICKER Y ESTROBOSCOPICO

Se produce en fuentes de luz artificial que operan con variaciones cíclicas, como la corriente alterna; ya que cesa su emisión luminosa cuando la corriente pasa por el punto cero. Como esto tiene lugar dos veces por periodo, en redes eléctricas con frecuencias de 60 Hz (periodos por segundo), se producirán 120 instantes de oscuridad por segundo.

En las bombillas de descarga que funcionan con C.A., el ojo no es capaz de apreciar las variaciones que se producen tan rápidamente en la luz, pero, si este tipo de bombilla está iluminando zonas donde se realicen movimientos rápidos como en

ciertos eventos deportivos (estadios de beisbol o tenis) o en industrias que tengan máquinas rotatorias u oscilantes, se produce una sensación de movimiento intermitente, o por lo contrario dá la impresión de que la máquina está parada. A este fenómeno se le conoce con el nombre de EFECTO ESTROBOSCOPICO.

Este efecto, también denominado 'Flicker' (titileo o de parpadeo), se encuentra con mayor intensidad en los tubos fluorescentes y en las bombillas de sodio, seguidas de las bombillas de mercurio y en menor proporción en las bombillas metal halide.

Para reducir el fenómeno estroboscópico se recomienda:

- En los sistemas fluorescentes, utilizar el balasto del tipo adelanto-atraso o balasto electrónico.
- En los sistemas con otras fuentes de descarga, utilizar sistemas de distribución trifásica e instalar las luminarias en forma alternada en cada una de las fases.

4. RADIACIONES ULTRAVIOLETA (UV) E INFRARROJAS (IR)

4.1 GENERALIDADES

El ojo tiene la función de absorber las radiaciones electromagnéticas de determinadas longitudes de onda y de ser transparentes a otras. El ojo es transparente a la región del espectro visible, y absorbe la encontrada en la región ultravioleta y en la región espectral de los rayos infrarrojos.

4.2 RADIACIONES ULTRAVIOLETA (UV)

Son ondas que a veces se denominan "luz invisible", pero en términos físicos se definen como rayos comprendidos en el espectro electromagnético entre 400 nm y 100 nm. Aunque estos valores son un tanto arbitrarios; el límite superior es cercano a la sensibilidad de la retina, mientras que el límite inferior corresponde al inicio de los rayos X.

La fuente principal de radiación UV es el sol, aunque solo una pequeña cantidad de ella llega a nosotros, debido a que el aire de la atmósfera los retiene a la vez que se forma ozono, gracias a lo cual los seres vivos nos vemos protegidos de su acción perjudicial para los tejidos. Aunque hoy día, existen zonas donde esta capa está muy reducida, haciendo que haya mayor absorción por parte de los seres vivos de estos rayos. Artificialmente, se produce radiación UV mediante bombillas especiales, que usan como elemento reflector de los rayos UV diversas aleaciones especiales.

En medicina, se emplean los rayos UV según su longitud de onda; unos sirven como tonificantes del organismo, otros como germicidas, y algunos para la piel, etc. Desde este punto de vista, la clasificación aceptada y estipulada por la CIE (International Commission on Illumination), es:

ultravioleta A (de 400 nm a 315 nm)

ultravioleta B (de 315 nm a 280 nm)

ultravioleta C (de 280 nm a 100 nm)

El ultravioleta A se puede encontrar en gran cantidad en los rayos solares, en especial en las altas montañas. Por otro lado el UV-B lo encontramos en las radiaciones emitidas por los arcos de soldadores y aparatos de bronceado, y el UV-C es utilizado como elemento germicida.

Sobre la base de las aplicaciones prácticas y de los efectos obtenidos, la región ultravioleta se divide en las siguientes bandas:

- Productora de Ozono 180 - 220 nm
- Bactericidas (Germicidas) 200 - 300 nm
- Eritémica 280 - 320 nm
- Luz Negra 320 - 400 nm

Para propósitos de ingeniería, la región de "luz negra" se entiende ligeramente dentro de la porción visible del espectro.

Las radiaciones UV producen quemaduras o lesiones en los ojos o la piel si se usan indebidamente. En el capítulo siguiente veremos algunas de los peligros y ventajas que pueden tener estos rayos.

4.3 RAYOS INFRARROJOS

Se denominan rayos infrarrojos a las radiaciones electromagnéticas de longitud de onda mayor a 760 nm extendiéndose hasta aproximadamente 10^6 nm. Estos rayos fueron descubiertos por William Herschel en 1800. Hoy día podemos encontrar una

gran diversidad de aparatos domésticos que emiten radiación infrarroja, con longitudes de onda entre 760 nm y 7000 nm.

Los rayos infrarrojos que también los podemos llamar 'ondas calóricas' están situados entre las ondas radiotelefónicas y las ondas visibles.

Las ondas IR son emitidas por los cuerpos calientes, pero en realidad, como todos los cuerpos tienen un cierto grado de calor, se puede deducir que todos sin excepción las emiten. Una plancha apenas caliente, por ejemplo, es invisible en la oscuridad porque nuestros ojos no tienen sensibilidad para la zona IR; pero es posible fotografiarla en plena oscuridad utilizando placas apropiadas.

Las técnicas IR se han aplicado en disciplinas militares, industrias, meteorología, ecología, forestales, agrícolas, químicas, y otras más. Estos dispositivos se han empleado en la medicina para la detección del cáncer en el pecho y en otras aplicaciones de diagnóstico médico. En la mayoría de estas aplicaciones se pueden utilizar radiaciones infrarrojas porque patológicamente estas enfermedades producen inflamación y un aumento de temperatura, entonces estas partes de mayor temperatura se pueden localizar por medio de un detector IR de imágenes.

5. EFECTOS DE LA LUZ Y LAS RADIACIONES UV E IR SOBRE LOS SERES HUMANOS

5.1 GENERALIDADES

Debido al interés y a la importancia del hombre por el hombre, él se está preocupando por tener las debidas precauciones en los diferentes tipos de luminarias existentes en el mercado, ya que aparecen varios interrogantes puesto que la gran mayoría de las bombillas producen radiaciones fuera de la franja de luz visible (380 nm a 760 nm) del espectro electromagnético. En las bombillas incandescentes encontramos una gran cantidad de radiación infrarroja y una mínima de ultravioleta; para las bombillas de descarga de mercurio, metal halide y fluorescente encontramos radiación ultravioleta. Estas radiaciones encontradas (ultravioleta e infrarroja) son las vecinas a la luz visible. Estos dos tipos de radiación producen una cantidad de fenómenos dentro de los cuales están, el daño a tejidos oculares, efectos psicológicos, efectos en la piel como toxicidad, alergias, cáncer, eritemas y otros, aunque estos efectos los encontramos también con mayor frecuencia en la radiación solar, de la cual debemos tener el suficiente cuidado.

Debemos anotar que no todos los fenómenos son negativos, algunos son benéficos para el hombre tales como la producción de vitamina D, y mediante estudios realizados por médicos se ha demostrado que la luz artificial se puede utilizar como terapia (fototerapia). Ultimamente se la está utilizando para tratamientos del vitiligo, hiperbilirrubinemia, soriasis e incluso estudios recientes han mostrado que se está aplicando la fototerapia para modificar el cambio anímico del ser humano.

Estos efectos se explicarán a continuación:

5.2 EFECTOS OCULARES

Para los efectos oculares, la energía radiante del espectro está dividida en tres grandes grupos: ultravioleta, comprendido entre 200 nm y 400 nm; visible y cercana a infrarroja de 400 nm a 1400 nm; y las infrarrojas 1400 nm a 1 mm; en esta región la radiación presenta diferentes efectos sobre el ojo humano. Estos los podemos dividir en: prerretinales, que afectan principalmente la córnea y el lente cristalino, y retinales, que afectan también la mayor parte de la retina.

5.2.1 Córnea

La córnea absorbe principalmente longitudes de onda menores a 320 nm y es transparente a la radiación visible e infrarroja con longitudes de onda menores de 1400 nm.

Fotoqueratitis Corneal

Es una inflamación muy dolorosa de la capa epitelial (más externa) de la córnea, que se conoce también con el nombre de conjuntivitis o ceguera del sol. Da una sensación similar a la producida por partículas de arena en el ojo, y puede estar acompañada de otros síntomas tales como visión borrosa debida a la falta de transparencia de la córnea ocasionadas por la inflamación, lagrimación y contracción en los párpados. Este fenómeno aparece cuando el ser humano se expone a una fuente de radiación UV durante varias horas (entre 2 y 8 horas). Esta exposición se puede presentar en lugares donde se utilizan bombillas del tipo germicida, para investigaciones científicas y también la encontramos en las personas que miran directamente la soldadura de arco.

Las radiaciones más perjudiciales se encuentran en las longitudes de onda comprendidas entre 270 a 280 nm y decae a valores despreciables a 320 nm. Su recuperación depende del tiempo de exposición, ya que puede ser rápida y completa

en 48 horas excepto si la exposición ha sido severa. Si se expone a una radiación de menos de 1 mW/cm^2 su recuperación puede durar días.

5.2.2 Lente Cristalino

El lente cristalino se encarga de enfocar los objetos según la distancia en que se encuentren respecto al ojo (acomodación). En el hombre, al nacer, se observa que su lente es transparente pero a medida que el ser humano envejece el cristalino se va opacando principalmente debido a la absorción de radiación ultravioleta, hasta tomar una coloración amarillenta. A este fenómeno se le da el nombre de 'cataratas', que puede curarse mediante operación quirúrgica colocando en su reemplazo lentes de contacto o implantes intraoculares.

Estudios realizados han mostrado que no solo existen cataratas por radiación UV sino también por radiación IR, produciendo igualmente opacamiento en el lente aunque en un menor porcentaje. Las cataratas del vidriero (soplador de vidrios) fueron endémicas entre los trabajadores de las industrias del acero y cristalerías e incluso se le proporcionó al trabajador lentes con filtros infrarrojos para protegerlos al mirar los materiales moldeados. Las cataratas causadas por infrarrojos requieren largos periodos de alto nivel de exposición, a longitudes de onda superiores de 700 nm .

También se han reportado cataratas producidas por radiación ultravioleta. Los datos obtenidos indican que para exposiciones agudas, las longitudes de onda menores a 325 nm, son más dañinas con un punto extremo de aproximadamente 300 nm. Se cree que las cataratas por UV son de carácter fotoquímico. Las recomendaciones sobre límites de seguridad son las mismas que las de la córnea. Hay un alto grado de conciencia acerca de la posibilidad que, a largo plazo, una exposición crónica a radiación UV, pueda ser la causa de las cataratas "normal" presente comunmente entre las personas mayores. Así mismo, a ciertas edades de los lentes humanos, se presenta un marcado incremento de UV que puede estar involucrado en la formación de cataratas. Sin embargo, debido a la gran variación en la incidencia de cataratas, es posible concluir que las exposiciones normales a cantidades de ultravioleta ambientales puedan producir el opacamiento de los lentes. Para las personas que usan lentes correctores, es prudente que incluyan filtros UV en sus gafas como una forma de precaución. Además, debido al incremento en la exposición a radiación UV del brillo solar y el reflejo del agua y la nieve, todas las gafas solares deberían incluir filtros bloqueadores de UV.

Sin embargo, con respecto a las bombillas existentes en el mercado, no se tiene certeza de que estén involucradas en la formación de cataratas.

5.2.3 Retina

Los efectos producidos sobre la retina por radiación UV, son muy escasos, ya que se necesita suficiente radiación para que se puedan producir daños en esta parte del ojo humano. En circunstancias normales, el medio ocular (cornea, humor acuoso, humor vítreo y el cristalino) protegen la retina contra la exposición UV. Para longitudes de onda entre 320 y 400 nm, el cristalino se encarga de proteger la retina con mayor efectividad.

La radiación visible puede también ocasionar daños en la retina, y estos pueden dividirse en dos categorías: Para exposiciones menores de 10 segundos, se piensa que se produce por efecto térmico ya que la energía lumínica no se disipa con la suficiente rapidez y las proteínas son desnaturalizadas produciendo daño celular, causando la pérdida inmediata de la visión, con poca posibilidad de recuperación. Su punto máximo del espectro está en 500 nm. Para exposiciones mayores a 10 segundos, el daño sucede por medio fototérmico; deben ocurrir varias horas de contacto para que se afecten los conos y bastones. Un ejemplo claro es la quemadura por eclipse (retinopatía solar) con una recuperación, si la hay, mínima. Su punto máximo de longitud de onda corta es de 445 nm.

Aunque no es probable que las bombillas convencionales causen daño retinal, los avances tecnológicos han llevado al incremento en el uso de fuentes de alta intensidad y alta radiación. Si estas fuentes no se utilizan con las adecuadas precauciones, pueden causar quemaduras corioretinales serias. Podemos encontrar en la industria algunas fuentes de radiación tales como: bombilla de tungsteno halógeno, bombilla de arco compacto (simuladores solares), fuentes de radiación óptica por pulsos y exposiciones a rayos láser, etc.

La luz que entra a la córnea pasa a través de la cámara o el humor acuoso, el lente, el humor vítreo y choca contra la retina. Entre los 400 y 1400 nm la retina es el tejido más vulnerable a los efectos de la radiación. La mayor parte de la energía que llega a la retina en forma de luz se convierte en calor por la coroides y los pigmentos de la capa epitelial, este calor es el causante del daño térmico que sufre la retina. Dependiendo del tiempo de exposición y de la energía total absorbida se pueden presentar también daños químicos en la retina.

Fotocoagulación Retinal

Un procedimiento curativo sobre los efectos de la radiación de 400 a 1400 nm sobre la retina, involucra las técnicas de fotocoagulación para reparar el desprendimiento retinal, mediante la utilización de rayos láser. Los procesos originales de coagulación

consistían en "soldar" la retina desprendida a la esclera utilizando radiación incoherente de luz blanca a partir de un coagulador cosntituido por una bombilla de xenon. El coagulador ha sido reemplazado en muchas clínicas oftalmológicas por coaguladores láser de rubí y argón. Hoy día, la técnica de fotocoagulación en oftalmología ha sido aplicada en tratamientos de retinopatía diabética, glaucomo y muchas otras patologías que involucran al ojo.

Investigaciones efectuadas en las décadas pasadas han demostrado que en el rango de longitudes de onda de 400 a 1400 nm, hay por lo menos tres mecanismos diferentes que producen daño retinal; que son:

1. Daño mecánico u "onda de choque" provenientes de pulsos de picosegundos y nanosegundos originados por rayos láser.
2. Daño térmico por duraciones de pulsos que se extienden desde microsegundos a segundos. Excepto para variaciones menores en la transmitancia a través del medio ocular y variaciones de absorción del epitelio pigmentado y la coroides, el daño térmico no depende de la longitud de onda.

3. Daño fotoquímico originado por la exposición a longitudes de onda corta en el espectro visible para tiempos de duración y densidades de energía sobre la retina que no incluyan efectos térmicos. El daño fotoquímico sí depende de la longitud de onda.

No hay una transición abrupta de un tipo de daño a otro en términos de tiempos de exposición y longitudes de onda.

En términos generales y en condiciones normales, se puede afirmar que el espectro de radiación visible y sus vecinas sólo afectan las capas mas externas o segmento anterior del ojo, pues la acción de filtro de los medios refrigerantes oculares impiden la llegada de este tipo de radiación a la parte interior del ojo o retina. El ojo tiene que estar expuesto a largos periodos de radiación para que sufra algún daño.

5.3 EFECTOS EN LA PIEL

Entre los efectos dañinos sobre la piel se incluyen las quemaduras por sol, el cancer cutáneo y las alteraciones morfológicas (como arrugamiento, alteración en la pigmentación) que aparentan un envejecimiento prematuro. El efecto benéfico ocasionado por la radiación UV sobre la piel es la producción de vitamina D.

5.3.1 Propiedades Ópticas de la piel

La reflectancia de la piel para longitudes de onda menores a 320 nm es baja, independiente del color de la piel; sin embargo, para longitudes de onda entre 320 nm y 750 nm la reflectancia de la piel depende de la pigmentación que ésta tenga. La transmisión de radiación UV a través de la piel depende del color que ésta tenga (contenido de melanina), de la longitud de onda de la radiación y del espesor de la piel. En general, la transmisión se incrementa con el aumento de la longitud de onda de 280 a 1200 nm. Típicamente para los caucásicos la transmisión en la base de la capa superior de la piel (estrato córneo) es de 34% a 300 nm y de 80 % a 400 nm. La transmisión disminuye con el aumento del contenido de melanina en la piel y con el aumento del espesor de la misma.

El principal factor de coloración de la piel es la melanina; si existe un mayor contenido de melanina y espesor de la piel, se evita que haya mayor transmisión de radiación UV, por lo que la piel será más oscura.

Un bronceado inmediato mediante exposición a radiación UV de longitud de onda superior a 300 nm, da como resultado el oscurecimiento de melanina existente; si por lo contrario es un bronceado retardado, se estimula la producción de melanina mediante la acción de la radiación ultravioleta sobre las células melanocitos que

producen melanina adicional. Este cambio en el color de la piel se observa después de tres días de exposición a la radiación UV.

5.3.2 Eritema

El enrojecimiento retardado de la piel (o eritema), es un fenómeno muy frecuente ocasionado por exposiciones a radiaciones UV de longitudes de onda comprendidas entre 290 a 320 nm.

El espectro de acción de la eritema para longitudes de onda menores a 300 nm varía considerablemente entre observadores a causa de las diferencias en el grado de eritema adoptado como criterio de determinación, y en el tiempo de observación después de la radiación.

El eritema ocasiona inflamación en la piel, y es el resultado del incremento del volumen de sangre en los vasos sanguíneos cutáneos superficiales; ocasionando también que la piel se ponga caliente y delicada.

Aproximadamente 18 milijulios por centímetro cuadrado de energía a la longitud de onda más efectiva (297 nm) causará un enrojecimiento perceptible escaso en el 50% de todos los caucásicos. Esta cantidad de energía efectiva requiere aproximadamente

12 minutos bajo el sol al medio día y con la delgada capa de ozono estratosférica existente en los trópicos.

La exposición a la radiación UV puede dar como resultado un eritema inmediato, particularmente a altos niveles de radiación. La piel puede aclararse pocos minutos después de que cese la radiación y puede reaparecer de una a tres horas. Entre mayor sea la dosis, más rápido reaparece y es mayor la persistencia del eritema.

Si el eritema es aún mayor, la peladura de la piel (desquemación) comenzará aproximadamente 10 días después de la radiación. Este rápido descarchamiento de la capa superior de la piel resulta de la crecida proliferación de células de piel durante la recuperación del daño con ultravioleta. La desescamación neutraliza la respuesta protectora a la radiación UV porque impide que la epidermis aumente de espesor y la rápida pérdida de la piel impide la estimulación de la radiación UV para la producción de melanina.

La fotoprotección hace referencia a la protección contra los efectos degradables producida por bloqueadores aplicados a la piel. Estos bloqueadores reducen el efecto del ultravioleta, especialmente por absorción, aunque la reflexión puede tener alguna incidencia. Se ha alcanzado un progreso considerable en los últimos años en el desarrollo de bloqueadores resistentes al agua que lo hacen más efectivo.

5.3.3 Cáncer de Piel

Las tres variedades de cáncer de piel son células basales, células escamosas y melanoma maligno. La frecuencia de ocurrencia está establecida en ese orden, siendo el cáncer de células basales el más común; su porcentaje se aumenta a medida que se incrementa la latitud. Tanto el cáncer de células basales como el de células escamosas se correlacionan con la exposición ultravioleta. Estos cánceres tienen un alto porcentaje de curación si son tratados a tiempo. Los melanomas son considerablemente más extraños, tienen un porcentaje de cura menores y tienen una correlación menor con la exposición ultravioleta.

Las investigaciones llevadas hasta hoy no han demostrado que las bombillas utilizadas para iluminación tengan suficiente radiación UV para producir riesgo de cáncer.

5.4 EFECTOS PSICOLOGICOS

El desorden afectivo estacionario (DAE en español) o stationary affective disorder (SAD en inglés), es una forma de depresión que ocurre comúnmente en lugares estacionarios, donde varía significativamente el ciclo de luz del verano al invierno. En días cortos (estación invierno) las personas toman un comportamiento de fatiga, son aletargadas, con somnolencia y depresivas. Mediante un tratamiento que consiste en

extender las horas del día con luz artificial de más de 2500 luxes (fototerapia), sus resultados fueron favorables y efectivos.

5.4.1 Psicología de la Iluminación en el Trabajo

Ferree y Rand, del laboratorio de Investigación en Optica Fisiológica realizaron estudios minuciosos acerca de la iluminación en relación con el trabajo, sus descubrimientos hicieron posible las siguientes generalidades:

La luz solar proporciona la mejor calidad de iluminación para el trabajo. La luz artificial que se aproxime mejor a la luz del sol, respecto al color y a la composición, es la segunda mejor alternativa. Las principales características que se deben tener en cuenta en un buen diseño de iluminación son la distribución y ubicación de las fuentes luminosas, su intensidad, su brillo y la combinación de la luz artificial y la solar. La luz artificial debe tener una composición espectral amplia; la que tenga mayor tendencia a una radiación monocromática constituye un obstáculo para la iluminación de áreas de trabajo.

La diferencia más marcada entre la luz solar y artificial es su difusión. Cuando una luz es lo suficientemente difusa tiende a producir menos brillo. La intensidad excesiva y la difusión deficiente puede producir daños visuales.

Una de las causas más comunes de molestia y fatiga visual es el brillo excesivo de las fuentes en el campo de visión. La brillantez excesiva suele deberse a la fuente de luz o a la instalación física. Se ha intentado resolver este problema, diseñando pantallas que de alguna manera protejan los ojos contra el brillo. Cuando una luminaria dirige el flujo luminoso hacia abajo, se obtiene lo que se conoce como alumbrado directo; en este caso la luz se dirige hacia la zona de trabajo y las paredes y techos permanecen oscuras o poco iluminadas. En el alumbrado indirecto, la luz se dirige al techo y de ahí se refleja hacia otras partes del recinto incluyendo la zona de trabajo. Algunos sistemas indirectos mal diseñados dan como resultado una brillantez desproporcionadamente alta en el techo, y poca intensidad en la zona de trabajo. Las luminarias translúcidas que reflejan parte de la luz al techo y transmiten otra parte hacia abajo, han logrado resolver las desventajas de la luz directa e indirecta.

El problema de la desigualdad en el alumbrado se ve claramente en el caso de luminarias ordinarias. Aunque las luminarias de escritorio hacen que la zona de trabajo esté bien iluminada, se produce un alumbrado bajo en el recinto; como la mayoría de las personas, cuando trabajan ante un escritorio, miran continuamente hacia arriba u otras partes de la habitación, este cambio de visión requiere un ajuste continuo de la pupila dando como resultado fatiga y cansancio.

Esto se puede solucionar colocando otra bombilla en otro sitio del recinto, reduciendo así la diferencia entre el alumbrado de la zona del escritorio y del recinto para asegurar un equilibrio de toda la habitación, disminuyendo de esta manera el esfuerzo visual.

5.4.2 Psicología del Color

El color también ejerce efectos psicológicos sobre las personas y sus emociones; los colores fríos como los púrpuras, azules, morados, azul-verdoso y verdes producen una sensación de frescura, y tienden a crear una ilusión óptica de espacio y distancia; por otra parte, los colores cálidos como el rojo, naranja y amarillo, por asociarse con el fuego, producen una sensación de calor y son los que pudieran llamarse ‘colores que acercan’. Un matiz de azul o amarillo en la luz blanca hace que esta sea fría o cálida respectivamente. A su vez, los colores claros animan y dan sensación de ligereza, mientras que los colores oscuros deprimen y dan sensación de pesadez. Se dice que los colores del extremo rojo (cálidos) del espectro son excitantes o estimulantes, mientras que los azules, verdes y violetas (fríos), son calmantes y/o depresivos; de ahí que los colores se pueden utilizar para crear el ambiente deseado.

5.4.3 Ritmos Circadianos

Muchos ritmos biológicos ocurren diariamente y se basan en un ciclo día-noche o luz-oscuridad producido por la rotación de la tierra sobre su eje relativo al sol. Tienen un período aproximado de 24 horas y son llamados ritmos circadianos. Por ejemplo, ciertas plantas, tales como plantas de semillero de habichuela, elevan sus hojas perpendiculares a la iluminación del sol durante el día y las bajan al pie de sus troncos en la noche. Este efecto se conoce como el ritmo del movimiento para dormir. En animales y humanos, existen fluctuaciones diarias en actividades físicas como dormir, comer, la temperatura del cuerpo, las tasas de secreción glandular de ciertas hormonas, y otros procesos metabólicos. La luz juega un papel sobre la influencia o control de algunos de estos ritmos. No es claro, sin embargo, determinar cuáles ritmos circadianos son realmente inducidos por la luz y cuáles son simplemente sincronizados por ella.

Muchos ritmos circadianos parecen continuar aún cuando los organismos sean colocados bajo condiciones constantes donde estén protegidos de los ciclos ambientales de luz-oscuridad. Aunque los ritmos persistan por algunos días, su período generalmente se vuelve algo más largo o más corto que 24 horas. Por ejemplo, el ritmo del movimiento para dormir en plantas de semillero de habichuela persiste por

varios días bajo condiciones de iluminación en penumbra. Bajo tales condiciones el período de su ritmo se incrementa de 24 a 27 horas.

Puesto que los ritmos circadianos persisten aún en ausencia de los cambios naturales de luz (día-noche) en el ambiente, se cree que los organismos poseen su propio sistema de temporización, el cual ajusta el horario de los ritmos. El término popular para este sistema de temporización es "el reloj biológico". Se conoce muy poco sobre la naturaleza exacta o ubicación de los relojes biológicos en el organismo. Algunos científicos creen que los organismos tienen su propio sistema de temporización interno, otros sugieren que los relojes son ajustados por el electromagnetismo de la tierra o por fuerzas gravitacionales.

5.5 EFECTOS DE LA LUZ SOBRE LA VITAMINA D Y EL METABOLISMO DEL CALCIO

La radiación UV juega un importante papel en la producción de la vitamina D en la piel. Esta vitamina es esencial para la absorción intestinal normal del calcio y del fósforo a partir de la dieta diaria, y para la mineralización normal de los huesos. Una deficiencia en esta vitamina, origina también una deficiencia de calcio y fósforo en los huesos lo que puede ocasionar raquitismo, haciendo que se quiebren fácilmente los huesos o se produzcan fracturas muy dolorosas y peligrosas para el ser humano. Un

exceso o envenenamiento con la vitamina D, por otra parte, lleva a una absorción excesiva de calcio y fósforo de la dieta, produciendo un efecto tóxico en el esqueleto, que produce un aumento anormal en la concentración de calcio en la sangre, y precipitación de depósitos de fósforo de calcio en órganos vitales, que causan daños permanentes o aun la muerte. El exceso de la vitamina D también causa un aumento en la excreción de calcio en la orina, que puede producir cálculos renales o cálculos vesiculares. Si la degradación de vitamina D es moderada, el aumento del calcio excretado por la orina da lugar a una anomalía medianamente importante y de fácil control médico.

5.5.1 Metabolismo de La Vitamina D

La vitamina D formada en la piel (o absorbida de la dieta) es inerte hasta que es llevada por la sangre a otros órganos donde se activa. La activación involucra dos cambios químicos secuenciales en la molécula de la vitamina D. Es en ese momento, cuando la vitamina D se activa completamente y es capaz de ejercer sus efectos característicos sobre los huesos e intestinos.

La activación de la vitamina D se regula para cumplir con las necesidades de calcio y fósforo que necesita el cuerpo. Esta activación controlada disminuye también los efectos nocivos causados por variaciones exageradas de vitamina D, bien sea por una

dieta mal balanceada o por cambios en la síntesis de vitamina D en la piel. Si el suministro de vitamina D disminuye, se produce una deficiencia en el calcio y fósforo que necesita el organismo, como consecuencia, el cuerpo incrementa la eficiencia de la activación de la vitamina D, asegurando la máxima efectividad de cualquier cantidad de vitamina D que esté disponible en el organismo. Por otra parte, cuando existe un exceso de vitamina D, el aumento exagerado en la acumulación de calcio detiene la activación de la vitamina, evitando así sus efectos perjudiciales.

5.5.2 Producción de Vitamina D en la Piel Mediante Radiación

El método más efectivo para la obtención de vitamina D, es mediante la absorción de radiación UV sobre la piel. Si se priva al ser humano del sol (fuente usual de ultravioleta), éste presenta una deficiencia en la absorción del calcio y del fósforo necesarios para el buen funcionamiento del organismo.

La vitamina D se produce fotoquímicamente en la piel a partir del 7-deshidrocolesterol (producto intermedio en la biosíntesis del colesterol). Esta molécula absorbe la radiación UV y rápidamente se convierte en previtamina D. Luego dicha previtamina se isomeriza a vitamina D. Este segundo paso no requiere de la absorción de luz y ocurre lentamente durante algunas horas. Mediante este proceso se forma la vitamina D y se descarga lentamente en el torrente sanguíneo.

Estudios realizados han demostrado que la radiación UV en el rango entre 250 y 315 nm es la más efectiva para la producción de vitamina D en la piel, con un punto máximo de efectividad aproximado en 297 nm.

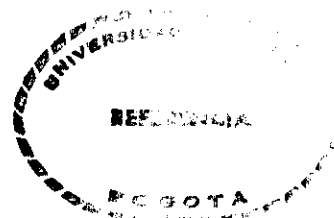
6. LA LUZ COMO TERAPIA

6.1 CONCEPTOS GENERALES

La luz no solamente es esencial para iluminar los sitios de trabajo, sino que también tiene otros efectos benéficos en lo referente a la salud humana. La luz se está utilizando como medio terapéutico en la prevención y tratamiento de diferentes enfermedades físicas y psicológicas del ser humano. Algunas de estas anomalías que pueden tratarse de esta manera son: ictericia, soriasis y cambios anímicos debidos a las estaciones. Aunque existen otras enfermedades que hoy son tratadas con la fototerapia, en este capítulo se hablará de éstas.

6.2 FOTOTERAPIA DE LA HIPERBILIRRUBINEMIA NEONATAL

Conocida también con el nombre de ictericia del recién nacido. Se estima que del 15 al 20 % de los niños prematuros o neonatos sufren de acumulación de bilirrubina en la sangre, debida a que en los neonatos, su hígado es inmaduro e incapaz de ejecutar su función, por lo que la piel del bebé toma un color amarillento.



La bilirrubina se deriva principalmente de la degradación de la hemoglobina. Normalmente, la bilirrubina se transporta en la sangre unida a la albúmina. Cuando la bilirrubina llega al hígado, se combina y llega a la bilis en la vesícula biliar y de ahí pasa al intestino grueso donde se excreta, y en menor proporción se excreta en la orina. Los recién nacidos, que sufren de hiperbilirrubinemia, no tienen la facilidad de excretar la bilirrubina normalmente.

Un exceso de concentración de bilirrubina, afecta la capacidad de enlazamiento con la albúmina, la circulación de bilirrubina libre (no unida con la albúmina) alcanza el cerebro produciendo encefalopatía y daños irreversibles dados por concentración de sustancias tóxicas en las células cerebrales, lo que se conoce con el nombre de 'kernicterus'. Esta produce enfermedades serias como parálisis cerebral, dificultad de aprendizaje, sordera y otros daños neurológicos que pueden ser fatales. La fototerapia se usa para prevenir una alta concentración de bilirrubina plasmática, que pueda ser tóxica para el sistema nervioso central.

6.2.1 Modo de Empleo de la Fototerapia Neonatal

La fototerapia de ictericia neonatal es una alternativa para evitar la transfusión de sangre al recién nacido. Se administra como una irradiación de cuerpo entero (generalmente ventral) mediante tubos fluorescentes de 20 W, comúnmente en grupos

de 8 a 10 tubos, cuya radiación está comprendida entre 400 y 490 nm del espectro visible; el bebé se coloca a una distancia de 40 a 50 cm debajo de la fuente, desnudo, con los ojos protegidos con parches especiales para evitar que sufra algún daño en la retina. La bilirrubina tiene un punto máximo de absorción entre 445 y 450 nm, y es fotoquímicamente alterada por irradiación en esta región.

Estudios han mostrado que exposiciones a una irradiación de 0.9 mW por cm² en la región de 400 a 490 nm durante un periodo de tiempo de dos y tres horas, produce una pérdida gradual del color amarillento en la piel, acompañado con una reducción de la bilirrubina en el plasma.

Aún cuando la fototerapia de la hiperbilirrubinemia ha sido usada por 20 años, la irradiación óptima y los métodos de aplicación de la irradiación no han sido aún establecidos. Se ha comprobado que este método (fototerapia), ha sido más efectivo que otros, como la transfusión de sangre, porque no es invasiva y existe poco riesgo de mortalidad. Sin embargo, se han observado algunos efectos colaterales que se detallan a continuación y que deben ser controlados:

- Aumento de la temperatura del cuerpo ocasionado por la radiación térmica proveniente de las bombillas.
- Retardo temporal en el crecimiento del bebé.

- Aumento en la pérdida de líquidos.
- Libre evacuación de vientre, deposición.
- Salpullido transitorio en la piel.
- Alteración de ritmos biológicos.
- Riesgo físico ocasionado por una fototerapia inapropiada.
- Aumento en la respiración.
- Aumento en el flujo periférico de la sangre.
- Disminución en la circulación de las plaquetas.

6.2.2 Diseño de los Equipos y Mediciones

Para el diseño de las unidades para la fototerapia y las mediciones de radiación deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones esenciales:

6.2.2.1 Requerimiento de las Bombillas

- Deben emitir suficiente radiación sobre la piel de los niños en la región espectral comprendida entre los 400 y 490 nm para disminuir el nivel de bilirrubina en el plasma.

- Deben proporcionar suficiente iluminación y rendimiento de color para poder monitorear y detectar cambios en el color de la piel del bebé.
- No deben emitir en exceso radiación infrarroja que puedan causar estrés o excesiva pérdida de agua en los niños.

6.2.2.2 Requerimiento en las Unidades de Luz en Fototerapia

- Se debe utilizar un recubrimiento acrílico protector entre las bombillas y el bebé para absorber la radiación UV de las bombillas y diseñar el sistema de fijación de las bombillas de tal manera que garantice que éstas no se puedan desprender de los sockets.
- Se debe suministrar un espejo reflector del calor para las bombillas que produzcan una gran proporción de radiación en el rango de los infrarrojos con el fin de reducir la carga calorífica, el esfuerzo y la pérdida de agua en el bebé.
- Las unidades deben tener una ventilación adecuada para evitar que debido a los fenómenos de radiación, conducción y conversión se originen temperaturas que disminuyan la eficacia y la vida de las bombillas fluorescentes.

- El diseño óptico de la unidad debe ser tal que direcciona la luz visible de las bombillas uniformemente sobre la piel de los bebés.

6.2.2.3 Medición de las Radiaciones

- Para asegurar que la radiación sea uniformemente distribuida y de un nivel suficiente para ejecutar la fototerapia, se requiere medir la radiación proporcionada al bebé.
- El instrumento usado debe ser tal que mida de manera exacta la irradiación (milivatios por centímetro cuadrado o microvatios por centímetro cuadrado) sólomente en la región espectral de 400 a 490 nm con bloqueo óptico para cualquier otra región espectral.
- Si se cuenta con la distribución exacta de la energía de la fuente de luz, se puede usar un método alternativo para estimar la irradiación. El método alternativo consiste en utilizar un aparato que mida la iluminación (luxómetro) y posteriormente calcular la irradiación, a partir del nivel de iluminación obtenido (footcandles o luxes), utilizando un factor de conversión de microvatios por centímetro cuadrado (400 a 490 nm) por lux o footcandle. Aunque éste método no es tan preciso es un método práctico que puede ser usado para determinar el

nivel y la uniformidad de la irradiación y para determinar cuando deben ser reemplazadas las bombillas.

6.3 FOTOQUIMIOTERAPIA

La fotoquimioterapia utiliza la combinación de radiación electromagnética no ionizada y drogas para lograr un efecto benéfico. Generalmente, en el tratamiento, ni la droga ni la radiación por sí solas tienen ninguna actividad biológica significativa; solamente la combinación, de droga y radiación producen un efecto terapéutico. El término PUVA (psoralén y UV-A) se utiliza para describir la administración oral de psoralén y la exposición subsecuente a UV-A (ultravioleta de onda larga, 320 a 400 nanómetros).

Se ha comprobado que el PUVA es efectivo en el tratamiento de la soriasis, vitiligo (una enfermedad de la piel que presenta ausencia de células de pigmentación), ciertas formas de eczema severo, una enfermedad maligna llamado micosis fungisoides y una lista creciente de otras enfermedades de la piel.

Los psoralenos son tricíclicos, químicos que actúan naturalmente, algunos de los cuales pueden ser fotoactivados por UV-A. En sistemas celulares vivientes, la

absorción de energía proveniente de los fotones comprendidos en la gama de los 320 a 400 nanómetros (con un pico amplio entre los 340 y los 360 nanómetros) producen fotoproductos denominados "thymine-psoralen". Cuando se suministran ciertos psoralenos a la piel bien sea por aplicación directa o por vía oral, una exposición subsiguiente a radiación UV-A puede resultar en enrojecimiento y bronceado retardado, que puede manifestarse horas o días después de la exposición.

El enrojecimiento o inflamación de la piel resultante del PUVA puede ser severo y constituye el factor limitante durante el tratamiento. La ocurrencia y el grado de enrojecimiento, está relacionada con la dosis tanto de la droga (del medicamento) como del UV-A y es predecible. El enrojecimiento que resulta del PUVA difiere del producido por las quemaduras por el sol en su tiempo de ciclo. El enrojecimiento por PUVA puede o no presentarse o iniciarse en las 12 a 24 horas posteriores a la exposición al ultravioleta y llega a su puntos máximos dentro de 48 a 72 horas.

Puesto que las enfermedades de la piel pueden ser tratadas mediante exposiciones dosificadas de psoraleno UV-A las cuales son menores que las dosis de exposiciones que causan enrojecimiento severo, la dosificación cuidadosa permite tratamientos seguros con PUVA. La pigmentación que resulta del PUVA es similar a la del bronceado retardado. La pigmentación se maximiza más o menos a los 5 o 10 días

después de la exposición al PUVA y perdura por semanas o meses.

Puesto que los efectos del PUVA requieren UV-A que penetra dentro de la piel pero que no alcanza órganos internos, el PUVA ofrece el potencial de combinar la facilidad de la administración sistémica con la seguridad de limitar los efectos biológicos al irradiar la piel.

Exposiciones repetidas al PUVA causan desaparición de lesiones de soriasis en la mayoría de los pacientes. De diez a treinta tratamientos dados dos veces por semana generalmente son adecuadas para alcanzar la limpieza. Tratamientos de mantenimiento semanales mantienen a la mayoría de los psoriáticos libre de evidencia de su enfermedad.

Pacientes con soriasis recurrente responden de nuevo a terapia con PUVA. El cuero cabelludo, las arrugas de la piel, y otras áreas no expuestas al UV-A no responden a la terapia.

Dos horas después de haber tomado 0.6 miligramos por kilogramo de 8-metoxipsoraleno, los pacientes se exponen a radiación UV-A. La exposición inicial a UV-A (1.0 a 5.0 julios por centímetro cuadrado) depende del grado de melanización y de la historia del bronceado. La exposición debe ser incrementada a medida que se

presente el tono de piel o bronceado debido a que la piel pigmentada disminuye la penetración del UV-A a niveles más profundos de la piel. Las fuentes ideales para la exposición son aquellas que tienen una alta radiación de UV-A, capacidad de irradiar toda la superficie del cuerpo, poca cantidad de UV-B (280 a 320 nanómetros) e infrarrojos, y radiación relativamente uniforme en todos los sitios dentro de la cabina de radiación. Son esenciales los dispositivos de seguridad y métodos confiables de medición y manejo de exposiciones exactas.

El sol puede ser utilizado como una fuente de radiación de PUVA pero tiene la desventaja de variar tanto la radiación ultravioleta como su distribución espectral de una manera impredecible. En pacientes bronceados y pigmentados se requieren tiempos más largos de exposición. Por ejemplo, la exposición del pecho y espalda del cuerpo puede requerir cada una de dos o tres veces más tiempo que el requerido para un tratamiento total en un sistema de fotoquimioterapia experimental. Algunos pacientes, sin embargo prefieren obtener tolelar el calor y el fastidio de la exposición al sol para obtener las ventajas de un tratamiento casero. Un sol intenso, cielo despejado, dispositivos de medición adecuados, instrucciones cuidadosas e inteligentes, permiten a pacientes motivados efectuar una terapia casera con PUVA-sol como una opción más razonable a un tratamiento en un hospital.

Exposición a altas irradiaciones de UV-A por períodos prolongados de tiempo han causado cataratas y cáncer de piel en animales de laboratorio. Estos efectos se aumentan si se utilizan los psoralenos. Sin embargo, las exposiciones usadas en estos estudios son mucho mayores que las exposiciones terapéuticas. Las observaciones en sistemas animales indican que el aumento en la inducción del cáncer de piel varía con la dosis y con la vía de administración del psoraleno y con la exposición a la radiación ultravioleta. Tanto los carcinomas de células basales como células escamosas han sido detectadas en pacientes tratados con PUVA. La incidencia sobre estos tumores es más alta en pacientes con una historia reciente de exposición a radiación ionizante o un carcinoma cutáneo previo. Estos hallazgos sugieren que el riesgo potencial del PUVA respecto al carcinogénesis cutáneo relacionado debería ser cuidadosamente sopesado contra el beneficio potencial de esta terapia. Deben tenerse cuidados especiales en el tratamiento de pacientes que tengan historias previas de carcinoma cutáneo o exposición a irradiación ionizante.

Estudios experimentales en animales indican que el 8- metoxipsoraleno, también sensibiliza los ojos (cornea y lentes) de ciertas especies a exposiciones con UV-A. No se conoce aún como esta sensibilización se relaciona con el uso del psoraleno en la fotoquimioterapia en los seres humanos: aunque los humanos han usado terapéuticamente el 8-metoxipsoraleno por décadas, no se han reportado cataratas atribuibles al PUVA. De todas maneras, se recomienda limitar el uso de la

fotoquimioterapia con psoraleno para aquellas personas con enfermedades significantes en la piel y usar adecuada protección en los ojos ante el UV-A durante el curso de la terapia. Después de ingerir psoralenos, los pacientes pueden protegerse de los ojos por lo menos hasta el final de ese día.

Los físicos deben tener cuidado de estos conceptos teóricos y tienen que observar cuidadosamente los pacientes contra signos de daño actínico acelerados. Los anteojos de sol opacos al UV-A disminuyen la exposición total del UV-A a los lentes y deben ser usadas durante los días del tratamiento.

6.4 LUMINOTERAPIA

Los rayos luminosos que inciden en la retina tras atravesar los medios refringentes como la córnea, cristalino, humor acuoso, son percibidos, por una parte, por los fotorreceptores visuales (conos y bastoncitos) unidos por el nervio óptico a los centros nerviosos visuales localizados en el tálamo. Y por otra parte, por receptores distintos a los utilizados para la visión.

El impulso nervioso que emana de estos últimos receptores es transmitido por canales distintos del nervio óptico y terminan en el hipotálamo. El hipotálamo envía el

mensaje inducido por la luz hacia la epífisis -el cuerpo pineal- a través de la médula espinal.

La epífisis es el centro de producción de la serotonina cerebral. Existen dos vías de degradación de serotonina que varían según la iluminación a que se exponga.

1. En exposiciones prolongadas a un alto nivel de luz, ya sea natural o artificial, la serotonina se degrada en la orina.
2. En caso de exposiciones prolongadas a una iluminación insuficiente, la serotonina se transforma masivamente en melatonina.

Cuando el estímulo luminoso que incide sobre la epífisis es considerable, inhibe la producción de melatonina, y de aquí la degradación de serotonina en melatonina. Experimentos han demostrado que la secreción de melatonina depende de los ritmos circadianos: es débil durante los periodos diurnos y alcanza su nivel más alto en la oscuridad, por lo que la producción de serotonina se interrumpe rápidamente y casi por completo.

El efecto inhibitor de la luz en el ser humano puede obtenerse únicamente a niveles elevados: del orden de 2000 luxes.

Durante el día, fácilmente podemos obtener iluminación de más de 20000 luxes en el exterior; cosa que no sucede en el interior, sobretodo si necesitamos de luz artificial. La iluminación recomendada para la mayoría de las tareas visuales se hallan entre los 200 y 1000 luxes, demasiado bajas para inhibir la degradación de serotonina.

La serotonina parece ser uno de los mediadores esenciales para el correcto funcionamiento del cerebro por su reforzamiento de la transmisión interneuronal. La insuficiencia de serotonina, aparece como una de las causas principales de los transtornos anímicos: comenzando por fatiga visual, psicastenia, estado depresivo, y hasta colapso nervioso. La luz es uno de los elementos reguladores esenciales para el bienestar mental. Estudios recientes han demostrado que existe una relación entre la luz y el estado mental, al que se le ha denominado 'Desórdenes Afectivos Estacionarios (SAD)'. (Nombrados en el ítem 5.4)

En realidad se trata de episodios afectivos periódicos susceptibles de producirse tanto en niños y adolescentes como en adultos, predominando en las mujeres con edades entre 25 y 50 años, sus efectos pueden ser:

- Retardo psicomotor (problemas intelectuales, dificultad de concentración, falta de iniciativa, tendencia a la soledad).
- Tristeza.

- Irritabilidad.
- Ansiedad.

Asociados con efectos físicos como:

- Somnolencia
- Aumento de Peso
- Hiperfagia con preferencia en los hidratos de carbono
- Estreñimiento y
- Cambios menstruales

Experimentos recientes, han demostrado los efectos positivos que tiene la luz sobre la mente: rápida mejoría del ánimo tras varios días de tratamiento y permanencia de los resultados siempre que la exposición diaria a la luz era continua. Y por lo contrario, se observó una recaídas inmediatas si la exposición a la luz es discontinua.

La forma de vida en las ciudades hace que hoy sea cada vez menos frecuente la exposición a la luz natural. A pesar de la mejora en los niveles de iluminación que ha supuesto la luz artificial en el rendimiento visual, aún nos encontramos muy lejos para inhibir la síntesis de melatonina en detrimento del suministro de serotonina.

De aquí nace la idea de combatir la insuficiencia de serotonina por medio de la LUMINOTERAPIA. Aunque la luz que se utilice para este efecto debe simular lo más exactamente posible a la luz natural y el tiempo de exposición debe ser suficiente.

Se llegó a un sistema terapéutico individual de uso doméstico. Este dispositivo, conocido como PSYLUX está compuesto por bombillas fluorescentes del tipo 'luz diurna integral' con una temperatura de color del orden de 6500 K. La iluminación generada por el paciente con el objeto de leer o escribir es del orden de 500 luxes. Para la aplicación de terapia curativa, se necesita de una iluminación diaria de 2 horas, y si se trata de terapia preventiva o de mantenimiento de 1 hora.

Teniendo en cuenta los biorritmos corporales, se recomienda que el tratamiento se lleve a cabo por la mañana, al despertar, una o dos horas antes de lo normal debido a los efectos de la luminoterapia.

Mediante experimentos realizados por el Dr. Norman E. Rosenthal se ha demostrado que la luminoterapia resulta beneficiosa para determinados niños que padecen fatiga o con dificultades de aprendizaje. La luminoterapia puede constituir un adyuvante válido de la quimioterapia para combatir la depresión reduciendo el tiempo necesario para eliminar la inhibición - de tres a siete días en lugar de ocho a quince días requeridos si sólo se utiliza fármacos - y acelerando el proceso de normalización del

ánimo con la consiguiente contribución al seguimiento del tratamiento médico. Es razonable admitir que la luminoterapia resultará útil para combatir los trastornos causados por el desfase horario, ya que la producción de melatonina está vinculada a los ritmos circadianos.

7. NORMAS, NIVELES DE ILUMINACION Y RECOMENDACIONES

7.1 NORMAS TECNICAS ICONTEC DE ILUMINACION

Algunas normas relacionadas con el tema de la iluminación del Instituto de Normas Técnicas (ICONTEC) son:

TITULO	NORMA No.
Balasto de reactancia para tubo fluorescente	1133
Balasto para bombillas de alta intensidad de descarga (especificaciones)	2117
Balasto para bombilla de vapor de mercurio alta presión	2069
Bombillas de vapor de mercurio alta presión	2119
Bombillas de vapor de mercurio (Método de medir sus características)	3281
Bombillas de vapor de sodio alta presión	2243
Bombillas de vapor de sodio alta presión (Método de medir sus características)	3282
Bombillas eléctricas de haluro metálico de 1000 W	2394

Bombillas eléctricas de haluro metálico de 400 W	2393
Bombillas eléctricas de filamento de tungsteno para uso general	0189
Código colombiano de alumbrado público	0900
Balasto para bombillas de alta intensidad de descarga. Ensayos	2118
Luminaria (requisitos generales y ensayos)	2230
Tubos fluorescentes de alumbrado general	0318

7.2 NIVELES DE ILUMINACION

Para que se obtengan niveles de iluminación adecuados con respecto a calidad, costo y consumo de energía, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Un estudio relacionado con el desempeño visual y la iluminación. Investigaciones realizadas sobre este tema dan como resultado un mejoramiento de la iluminación con respecto a la productividad, calidad y fiabilidad del trabajo realizado.
- Grado de satisfacción visual en todo tipo de ambiente debido a la iluminación.
- Experiencia. Está dada mediante la comparación entre la iluminación existente y ensayos realizados para así obtener valores estimables de iluminación.

Los ingenieros de iluminación buscan la forma más conveniente de instalar la cantidad de luz suficiente para obtener mayor eficiencia, comodidad y seguridad en las diferentes áreas de trabajo.

La iluminación necesaria depende de la dificultad del trabajo y del nivel de desempeño deseado, y en menor término, de la satisfacción del trabajador para realizar su labor.

El desempeño visual se encarga de la percepción de detalles con respecto a la velocidad y precisión en el campo visual.

El nivel de desempeño visual aumenta con relación a la luminancia hasta determinado nivel. Los factores que influyen para este desempeño son: el tamaño del objeto, su distancia al ojo y los contrastes. Otro factor que debe considerarse es la disminución de la agudeza visual a medida que el ser humano envejece.

Cuando se utiliza un nivel de iluminación elevado sin que llegue a ser molesto se obtienen: un alto desempeño y excelentes condiciones de visión. Este alto nivel de iluminación también se recomienda cuando existen bajos contrastes, cuando la velocidad y/o precisión del trabajo visual es crítica, y también, cuando se necesita alta productividad.

7.3 RECOMENDACIONES

Para que cualquier recinto cumpla los requisitos de iluminación, de eficiencia, comodidad y seguridad, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Hacer un estudio relacionado con el tipo de luminaria y bombilla a utilizar según al área que se desea iluminar.
2. Utilizar la bombilla más eficiente con respecto a los lúmenes por vatio.
3. En lo posible se debe hacer uso de la luz natural; como ya sabemos es la mejor iluminación existente.
4. Mantener limpias las superficies reflectantes y transparentes como ventanas o elementos que ayuden a que el recinto se encuentre claro y así evitar que baje el nivel luminoso mediante la absorción.
5. Las superficies como techos y paredes no deben ser brillantes y sus colores deben ser claros.

6. Hacer mantenimiento y limpieza frecuente y adecuada con respecto al sitio de trabajo y a la iluminación requerida.

7. Se recomienda aumentar el nivel de iluminación en los siguientes casos:

- Cuando se necesite gran esfuerzo visual en el trabajo, es decir, cuando se trabaje con objetos pequeños y el trabajo sea muy delicado.

- Cuando existe un contraste bajo, entre el color del objeto con que se trabaja y el fondo sobre el cual se visualiza.

- Cuando el trabajador sea de edad avanzada y ya ha perdido su potencia visual.

Esto es necesario para aprovechar mejor el tiempo de ocupación y mejorar la productividad.

8. Existe mayor eficiencia en el trabajo si los objetos iluminados son de mayor tamaño.

9. Se debe evitar el deslumbramiento que causa molestia en el ojo humano. Existen dos tipos de deslumbramiento: deslumbramiento directo y deslumbramiento indirecto.

Para evitar el deslumbramiento directo se recomienda:

- Disminuir el brillo de la bombilla mediante difusores.
- Aumentar el ángulo entre la bombilla y el ojo que recibe ese brillo.

Para el deslumbramiento indirecto se recomienda:

- Que las ventanas estén cubiertas con cortinas si causan deslumbramiento.
- Cambiar la posición de la fuente lumínica si ello es posible.
- Modificar los lugares de trabajo o posición de los equipos para que no exista reflexión.
- El acabado de los muebles de trabajo no debe tener partes especulares sino más bien del tipo difuso.

10. Tener en cuenta el color de la radiación que emite la fuente, ya que puede ejercer efectos visuales. Es necesario utilizar la fuente adecuada para cada tipo de trabajo.

Conviene tener en cuenta las siguientes recomendaciones visuales:

1. Hacerse un chequeo visual por lo menos una vez al año.
2. En un exceso de iluminación el rendimiento disminuye si se trata de un trabajo prolongado. Aunque inicialmente hay un aumento en la producción, aproximadamente

a la media hora de trabajo causará una fatiga existiendo una disminución en la productividad de un 20 %. En trabajos momentáneos, el aumento de la producción es directamente proporcional al nivel de iluminación; si los trabajos son prolongados, se debe establecer un nivel de iluminación que produzca un rendimiento directamente proporcional a las horas de trabajo. La velocidad de realización de un trabajo visual específico crece en relación con la iluminación.

3. El rendimiento está íntimamente relacionada con la fatiga. La agudeza visual también depende del estado fisiológico del individuo, lo que debe ser tenido en cuenta al determinar la escogencia de la iluminación. La fatiga del sujeto puede manifestarse por una disminución de la agudeza, hecho que se hace notar, en especial, en las bajas luminosidades; o también, si la iluminación sobrepasa los valores normales puede producir fatiga aunque en menor proporción.

4. Se dice que la fatiga visual aparece más rápidamente bajo luz cálida, por consiguiente, en periodos largos de trabajo, se recomienda utilizar luz fría.

5. Las bombillas de descarga no se deben utilizar al descubierto. Se debe acondicionar la luminaria para que tenga un dispositivo que garantice la dispersión de la luz.

6. Como se dijo anteriormente, el centelleo de un tubo fluorescente produce el efecto estroboscópico. Se recomienda utilizar luminarias que usen balastos del tipo adelanto-atraso o balastos electrónicos.
7. Las luminarias fluorescentes deben ser colocadas a una distancia no menor de un metro, para evitar la radiación ultravioleta aunque ésta sea débil.
8. La combinación de luz fría con luz cálida, dará características similares a la luz natural dando como resultado una buena tonalidad del color.
9. Cuando se utilizan en la industria bombillas especiales del tipo de radiación IR y UV se deben tener los cuidados pertinentes en el uso de los equipos de protección adecuados para este tipo de iluminación.
10. Se debe incrementar el nivel de iluminación en patologías oculares como:
 - Afaquía
 - Atrofia Optica
 - Coloboma
 - Coroidoretinitis
 - Glaucoma
 - Miopía Progresiva y otras.

Ya que son objeto de una ausencia de visión.

12. Se debe disminuir el nivel de iluminación en:

- Acromatopsia
- Albinismo
- Aniridia
- Cataratas
- Leucoma
- Neuritis Retrobular

Ya que por lo contrario la luz produce incomodidad (fotofobia).

CONCLUSIONES

Como se observa en la investigación presente, se ha venido hablando de los efectos colaterales de la luz en el hombre y de acuerdo con lo anotado anteriormente, se derivan las siguientes conclusiones:

1. El ser humano en desarrollo de una mejor calidad y comodidad de vida, vió la necesidad de conseguir luz en las horas de la noche y produjo lo que hoy conocemos como luz artificial. Las grandes investigaciones científicas y tecnológicas buscan conseguir una iluminación bastante cercana a la luz natural, donde no sólo es importante la luz como luz, sino que produzca un ambiente agradable.
2. Se busca que la iluminación sea adecuada para que las diferentes áreas de trabajo resulten amenas, seguras y cómodas para lograr rapidez en todas las labores a realizar, con un mínimo de esfuerzo, de deslumbramiento y fatiga.

3. Se han identificado cuatro parámetros claves que influyen en el efecto de la luz en los sistemas de vida: intensidad, duración, tiempo y distribución espectral.
4. Las investigaciones han demostrado que la iluminación en asocio con el objeto visual se relaciona con cuatro variables que son: tamaño, brillo, contraste entre el objeto y sus alrededores, y el tiempo concedido para detallarlo. Esto por su parte incide en la velocidad, eficiencia y por consiguiente en la productividad.
5. Tamaño, brillo, contraste y tiempo son interdependientes y están relacionadas entre sí. Una deficiencia de alguno de ellas, se puede suplir, dentro de ciertos límites, con un ajuste de los otros. El tamaño es un factor que no se puede modificar, pero el brillo, el contraste y el tiempo pueden tener cierto grado de modificación. El brillo y el contraste pueden aumentarse o disminuirse sin que se produzca un nivel de iluminación incómodo. Por su parte, el tiempo es un factor con el que podemos jugar para conseguir mejoramiento en la productividad.
6. Toda actividad ocupacional requiere niveles de iluminación adecuados. Estudios, investigaciones y ensayos han dado como resultado unos valores recomendados como mínimos, como se indica en las tablas del anexo No. 3.

7. El arte de iluminar se relaciona directamente con la comodidad y la agudeza visual. Podemos decir que una mala iluminación debida a una escogencia equivocada de la luminaria, a un nivel incorrecto de iluminación, o una ubicación inadecuada de las luminarias, o al simple hecho de un mal mantenimiento da como resultado que el ser humano y las personas a su alrededor no se sienta a gusto en su labor; esto se traduce física y psicológicamente en: dolor de cabeza, fatiga y hasta cambio de humor o temperamento.
8. Como se ha comentado anteriormente, la luz natural o luz día, está considerada como la mejor iluminación existente; siempre y cuando no afecte a los ojos en forma directa o reflejada. Debemos hacer uso de ella mediante ventanas, claraboyas, etc. y aprovecharla al máximo en las diferentes áreas de trabajo, para que unida con la luz artificial suministre un ambiente agradable. La luz artificial debe escogerse de tal manera que al llegar las horas de la noche cuando se necesita alumbrado artificial de un 100%, el ser humano no sienta tanto el cambio y se acomode fácilmente a él.
9. Como pudo apreciarse, un factor fundamental que debe ser tomado en cuenta es el 'deslumbramiento', producido por las fuentes luminosas o las luminarias; éste puede ser: fisiológico o enceguecedor que ocasiona disminución en la visibilidad, y psicológico cuando disminuye la comodidad visual produciendo con el tiempo



fatiga, cansancio y nerviosismo. El deslumbramiento también puede ser causado por superficies con alto nivel de reflexión, (superficies especulares), vitrinas, avisos luminosos y señales con niveles muy elevados de iluminación.

10. El deslumbramiento puede disminuirse si se tienen en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Evitando que la luminaria o fuente envíe rayos luminosos directamente al ojo del observador.
- Aumentando la luminancia del fondo contra el cual se observa la fuente o luminaria.

Podemos concluir que cuando exista o se sienta la presencia de deslumbramiento en determinadas áreas, se debe evitar esta molestia de cualquier manera posible, puesto que si no se hace producirá molestias al individuo, disminuyendo su rendimiento.

11. Otro factor fundamental en el rendimiento de una tarea visual es la fatiga. Ya que lo que nos produce fatiga, o molestias, influye en el rendimiento y por consiguiente en la productividad.

12. Es conveniente hacer un mantenimiento adecuado y permanente en el área de trabajo para que no se produzcan esfuerzos innecesarios de la persona, y siempre se encuentre un nivel luminoso adecuado.
13. La iluminación artificial puede producirse en dos tipos de luz, en cuanto a color se refiere: luz cálida, que la podemos encontrar en las bombillas incandescentes; y la luz fría o blanca que es producidas por ciertas bombillas de descarga como la luz de mercurio y la de los tubos fluorescentes. La escogencia de una u otra depende del destino o tipo de trabajo del recinto.
14. Las bombillas se dividen en tres grupos principales: Incandescente, fluorescente y de descarga de alta intensidad (vapor de mercurio, sodio de alta y baja presión, y metal halide), la luminosidad varía según la distribución espectral y rendimiento de color, y así mismo la bombilla difiere en eficacia y vida de servicio.
15. Además de la visión, las fuentes de luz tienen otros efectos benéficos sobre la fisiología humana. Algunas fuentes de luz se utilizan como medios terapéuticos en la prevención y tratamiento de un número creciente de desórdenes físicos, algunos de estos casos son soriasis, vitiligo, ictericia. La fototerapia ha reemplazado muchas técnicas peligrosas y dolorosas con métodos que son más plácidos y eminentemente más seguros.

16. La ictericia o hiperbilirrubinemia del recién nacido hoy día se cura con fuentes fluorescentes convencionales, claro está que se deben tener en cuenta algunas técnicas para el uso de las mismas. Pudiéndose de esta forma reemplazar las transfusiones de sangre como terapia para niños afectados.
17. La iluminación puede regular el ritmo biológico, dañar o reparar material genético, cambiar el humor, mejorar la productividad y aún ser usada como tratamiento, como se dijo antes, para el tratamiento de la ictericia en recién nacido, soriasis y algunas formas de depresión.
18. Los rayos ultravioleta de la luz solar tienen diferentes efectos en los seres humanos. Si se exponen a un alto grado de radiación ultravioleta hace que aumente la formación de melanina en la piel; pero si se excede a esta exposición se pueden producir cambios celulares que pueden causar cierta forma de cáncer de la piel.
19. Otros efectos que produce la radiación ultravioleta son la producción de cataratas y daños retinales producidos por la falta de precaución en el tratamiento de estas radiaciones que se producen en determinados tipos de trabajo (fábricas de vidrio, equipos de soldadura, etc).

20. La radiación ultravioleta tiene el efecto benéfico de obtención de vitamina D, que permite la absorción de calcio y fósforo necesarias para el desarrollo del organismo.
21. Las personas que viven en lugares geográficos donde existen las estaciones sufren de la depresión afectiva estacionaria (DAE) o Stationary Affective Disorder (SAD) en épocas de invierno. Estudios realizados han mostrado que un alto grado de exposiciones a niveles altos de luz en la mañana, (aproximadamente durante una semana) produce una mejoría en los pacientes que sufren esta depresión.
22. Hoy día, la luz fluorescente se usa para tratamiento de bebés con ictericia neonatal, consiguiendo benéficos resultados ya que evita daños cerebrales.
23. Aunque podemos deducir que las fuentes de luz no causan muchos efectos físicos sobre los humanos, sí podemos decir que produce una variedad de efectos psicológicos como son: fatiga, agotamiento, mal humor, depresión, dolores de cabeza y mareos. Muchos de estos efectos se deben no a la fuente en sí misma, sino a la mala aplicación que se le da, bien sea por niveles de iluminación inadecuados o por una mala localización de las luminarias que pueden producir

deslumbramiento o incómodas relaciones de brillo, o por una escogencia errada en el tipo de fuente luminosa.

GLOSARIO

ACROMATOPSIA. También llamada monocromatopsia. Enfermedad mediante la cual se impide la discriminación del color.

AFAQUIA. Falta del cristalino.

ALBINISMO. Deficiencia congénita y hereditaria de pigmento en la piel, asociado con agudeza visual disminuida y fotofobia.

ANGSTROM. Unidad de medida de las longitudes de onda equivalente a la diezmilésima parte de un milímetro.

ANIRIDIA. Falta de formación total del iris.

ATROFIA OPTICA. Degeneración de las fibras nerviosas que pueden darse como un resultado de una inflamación o edema previo. Esta degeneración va acompañada de proliferación del tejido conjuntivo en la cabeza del nervio.

CATARATAS. Está dado por la opacificación del cristalino.

COLOBOMA. Defecto congénito resultante del cierre incompleto de la hendidura fetal.

CORIORRETINITIS. Entidad patológica de proceso inflamatorio que abarca a la retina.

DIOPTRIA DEL OJO. Unidad de medida de la refracción del ojo y de las lentes y anteojos.

ELECTRON. Considérese al electrón como la mínima expresión de electricidad negativa conocida y uno de los elementos constitutivos del átomo.

EMISION DE COLOR. Expresión general para el el efecto que produce una fuente de luz sobre el aparente color de los objetos en comparación consciente o subconsciente con su propia apariencia de color bajo una fuente de luz de referencia.

ESCLEROSIS MULTIPLE. Presenta numerosas manifestaciones oculares. Produce contracción irregular del campo visual. Más tarde hay atrofia óptica incompleta, evidenciada por palidez de la porción lateral de la pupila.

ESPECTRO LUMINOSO. Conjunto de los siete colores simples que produce un rayo luminoso al descomponerse por efecto de una refracción adecuada.

ESPECULAR. Transparente, diáfano.

FOTOFOBIA. Negativa a la luz.

FOTON. Partícula luminosa dado por la teoría física moderna.

GLAUCOMA. Se denomina glaucoma a la presión intraocular aumentada que al cabo de algún tiempo es suficiente para producir un trastorno de la visión, consistente en defectos del campo visual y pérdida irreversible de la visión.

HIPERMETROPIA PURA. Defecto de visión en el cual los rayos paralelos que entran al ojo forman su foco detrás de la retina.

LEUCOMA. Opacidad de la córnea densa y blanca que reduce la visión cuando se encuentra en la zona pupilar.

LONGITUD DE ONDA. Distancia entre dos puntos correspondientes a una misma fase en dos ondas consecutivas.

LUMINOTECNIA. Técnica de iluminación, arte de hacer iluminación.

MIOPIA PROGRESIVA. Defecto de la visión que impide ver los objetos lejanos al ojo, su causa es la curvatura excesiva del cristalino, que forma las imágenes delante de la retina. Es progresiva ya que no se detiene en edades de 20 y 25 años.

POLARIZACION. Fenómeno óptico de origen electromagnético que describe la filtración selectiva de la luz, aislando uno de sus movimientos ondulatorios.

PSICASTENIA. Enfermedad mental en forma de depresión, falta de confianza en sí mismo, indecisión, angustia.

RADIACION INFRARROJA. Cualquier energía radiante dentro del rango de longitud de onda de 770 nm a $10E6$ nm. Esta radiación está dividida en:

- Cercana a infrarroja (longitud de onda corta) 770 - 1400 nanómetros.
- Infrarroja intermedia 1400 - 5000 nanómetros.
- Lejana a infrarroja (longitud de onda larga) 5000 - 1000000 nanómetros.

REFRACCION. Cambio de dirección que experimenta la luz al pasar de un medio a otro.

SENSACION CROMATICA. Es la impresión que las cosas producen en la conciencia por medio de los sentidos. Por ejemplo, para recibir, la sensación cromática, se necesita de un órgano especializado, el ojo, conectados por nervios a un centro óptico cerebral que a través de ellos, recibe los impulsos nerviosos que le envía al aparato ocular.

TEMPERATURA DE COLOR (de una fuente de luz). La temperatura absoluta de un radiador de un cuerpo oscuro tiene una cromaticidad igual a la de la fuente de luz.

TEMPERATURA DE COLOR CORRELACIONADA (de una fuente de luz). La temperatura absoluta de un cuerpo oscuro cuya cromaticidad se asemeja muy cercanamente a la de la fuente de luz.

ANEXOS

ANEXO 1. MAGNITUDES Y UNIDADES FOTOMETRICAS

MAGNITUDES FOTOMETRICAS

Flujo Luminoso (F o ϕ)

Es la magnitud de la energía radiante que produce una sensación luminosa.

Unidad: Lumen (Lm)

Intensidad Luminosa (I).

Relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente puntual en una dirección, por unidad de ángulo sólido en la dirección en cuestión.

Unidad: Candelas (Cd)

Iluminación ($E = d\phi / dA$).

Es la densidad de flujo luminoso incidente sobre una superficie; es el cociente entre el flujo luminoso y el área de la superficie cuando ésta última está iluminada uniformemente.

Unidad: Lux (Lux): si el área está en m^2 .

Footcandle: si el área está en pie^2 .

Eficacia de una Fuente (η)

Relación entre el flujo luminoso total emitido por una fuente y la potencia total absorbida por la fuente.

Unidad: Lumen por vatio (Lum/W)

Luminancia (L).

Para introducir el concepto de intensidad luminosa, la luminancia se expresa como $L = dI/(dA \cos \theta)$. Aquí, luminancia en un punto de una superficie en una dirección dada es interpretada como el cociente de intensidad luminosa en una dirección conocida producida por un elemento de la superficie circundante al punto por el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular a esta dirección.

Unidad: Candela por metro cuadrado (Cd/m^2)

Factor de Uniformidad General de Iluminación.

Relación entre la iluminación mínima y la iluminación media sobre una superficie dada.

Factor de Uniformidad Longitudinal de Iluminación.

Relación entre la iluminación mínima y la iluminación máxima sobre un eje específico de una superficie dada.

Factor de Uniformidad General de Luminancia.

Relación entre la luminancia mínima de la superficie de la calzada y la luminancia media.

Factor de Uniformidad Longitudinal de la Luminancia.

Relación entre la luminancia mínima medida o calculada sobre un eje específico y la luminancia máxima sobre el mismo eje.

UNIDADES FOTOMETRICAS

Lumen (lm). Unidad de flujo.

Flujo luminoso emitido en un ángulo sólido unitario (esterorradián) por una fuente uniforme que produce una intensidad luminosa de una candela en todas las direcciones.

Candela (Cd). Unidad de intensidad luminosa.

Se define como la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite radiación monocromática de frecuencia $540 \cdot 10^{12}$ hertz y cuya intensidad radiante en esa dirección es $1/683$ vatios por esterorradián.

Lux (lx). Unidad de iluminación.

Corresponde a la iluminación de una superficie de un metro cuadrado, que recibe un flujo de un lumen uniformemente repartido.

Otra unidad que podemos encontrar en iluminación es el footcandle (Fc).

$$1 \text{ lux} = 0,0929 \text{ Fc}$$

Candela por Metro Cuadrado (Cd/m^2). Unidad de luminancia o brillo.

Es el concepto para la intensidad luminosa reflejada por unidad de área de una superficie en una dirección especificada perpendicular al observador.

ANEXO 2. TABLA DE FLUJO LUMINOSO DE LAS FUENTES DISPONIBLES EN EL MERCADO

Abreviaturas:

Pot. = Potencia expresada en vatios (w)

Flujo = Flujo luminoso expresado en lúmenes (lum)

V.arran = Voltaje de arranque expresado en voltios (v)

Volt.bomb.= Voltaje de la bombilla expresado en voltios

I bomb. = Corriente de la bombilla expresado en amperios (A)

1. Bombilla Incandescente Clara

Flujo luminoso en lúmenes para voltajes de:

Pot.(w)	110/120 v	150/160 v	200 v
25	265	260	245
40	500	490	430
60	840	820	730
100	1580	1560	1380
150	2480	2440	2220
200	3450	3400	3150
300	5200	5100	4850
500	9400	9300	8400
1000	20200	20000	18800
1500	32000	32000	30100

2. Bombilla de Mercurio (HPL-N)

Pot.(w)	Flujo(lum)	V. arran.	V.bomb.	I bomb.
80	3400	180 v	115 v	0,80 A
125	6400	180 v	125 v	1,15 A
250	13000	180 v	135 v	2,10 A
400	22500	180 v	140 v	3,20 A
1000	57000	180 v	140 v	7,50 A

3. Bombilla de Sodio Alta Presión

a) Tipo Ovoide, Designación: SON

Pot.(w)	Flujo(lum)	V. arran	V. bomb.	I bomb.
70	5800	198 v	90 v	0,76 A
100	9500	190 v	100 v	1,0 A
150	13500	170 v	100 v	1,8 A
250	25000	170 v	100 v	3,0 A
400	47000	170 v	105 v	4,4 A
1000	120000	170 v	110 v	10,3 A

b) Tipo Tubular, Designación: SON-T

Pot.(w)	Flujo(lum)	V. arran	V. bom.	I bomb.
100	10000	190 v	100 v	1,2 A
150	14000	170 v	100 v	1,8 A
250	16000	170 v	100 v	3,0 A
400	47000	170 v	100 v	4,6 A
1000	125000	170 v	100 v	10,6 A

4. Bombilla de Sodio Baja Presión

Pot.(w)	Flujo(lum)	V. arran	V. bomb.	I bomb.
35	4800	390 v	200 v	0,6 A
55	8000	410 v	200 v	0,59 A
90	13500	420 v	200 v	0,94 A
135	22500	540 v	200 v	0,95 A
180	33000	600 v	200 v	0,91 A

5. Bombilla Metal-Halide

a) Tipo Ovoide, Designación: HPI

Pot. (w)	Flujo(lum)	V. arran.	V. bomb.	I bomb.
250 BUS	17500	200 v	125 v	2,2 A
400	27600	200 v	125 v	3,4 A
400 BUS	30600	200 v	125 v	3,4 A

NOTA: BU - BUS : Significa que se deben colocar en posición vertical

b) Tipo Tubular, Designación: HPI-T

Pot (w)	Flujo(lum)	V. arran	V. bomb.	I bomb.
250	17000	200 v	125 v	2,1 A
400	31500	200 v	125 v	3,4 A
1000	81000	200 v	130 v	8,25 A
2000	189000	200 v	135 v	16,5 A

6. Tubos fluorescentes

Tipo Distubular, Designación: TL

Abreviaturas:

P (w) = Potencia expresada en vatios

L (mm) = Longitud expresada en milímetros

V. Tubo = Voltaje del tubo expresada en voltios (v)

I. Tubo = Corriente del tubo expresada en amperios (A)

F (lum) = Flujo luminoso expresado en lúmenes

P(w)	L(mm)	V.Tubo	I.Tubo	F.lum	Color
14	380	39 v	0,39 A	580	luz día
15	460	46 v	0,36 A	690	luz día
20	610	57 v	0,37 A	1030	luz día
20	610	57 v	0,37 A	1220	blanco
20	610	57 v	0,37 A	750	cálido lujo
20	610	57 v	0,37 A	760	blanco lujo
40	1220	103 v	0,43 A	2600	luz día
40	1220	103 v	0,43 A	3200	blanco
40	1220	103 v	0,43 A	1950	cálido lujo
40	1220	103 v	0,43 A	2020	blanco lujo

ANEXO 3. TABLA DE NIVELES DE ILUMINACION PARA DIFERENTES TIPOS DE TRABAJO

Abreviaturas: Min = Nivel de iluminación mínimo (luxes)
Rec = Nivel de Iluminación recomendado (luxes)

1. Habitaciones - Recreo - Deportes

Locales comunes a todas las categorías:

	Min. Lux	Rec. Lux
Vestíbulos, corredores, ascensores	50	70
Escaleras	100	150
Vestuarios, tocadores y lavabos	50	100

Habitaciones:

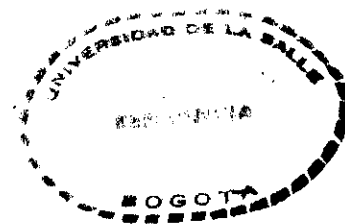
Cuartos de baño: Alumbrado general	50	100
Espejos (sobre el rostro)	200	500
Dormitorios: Alumbrado general	50	—
Camas y espejos	200	500
Cocinas: Fogones, lavaderos, mesas	100	200
Cuartos de niños	70	200
Cuarto de estar: Alumbrado general	70	200
Lectura intermitente	150	—
Lectura prolongada	300	500
Costura intermitente	200	500
Trabajo de escolares en casa	300	500
Banco de taller de artesano	150	300

Salas de espectáculos:

Vestíbulo	100	—
Salón de descanso	100	200
Anfiteatro (Teatros. Salas de Concierto):		
Durante los entreactos	100	200
Durante la audición	Alumbrado circulación	300 500
Orquestas (sobre los atriles)	100	200
Salas de cine: Durante los entreactos	Alumbrado circulación	150 200
Durante la proyección	Alumbrado circulación	—
Salas de fiestas, salas de baile: Alumbrado general	150	200
Intermedios, exhibiciones	Alumbrado circulación	—

Cultura física y deportes:

Billares: Alumbrado general	70	—
Mesas	200	500
Bolos	150	—
Gimnasios	100	300
Patinaje (entrenamiento)	70	—
Tenis cubierto: Entrenamiento	100	150
Competición	200	300
Baloncesto: Entrenamiento	150	200
Competición	300	500
Ping-Pong: Entrenamiento	200	—
Competición	500	—
Golf miniatura	100	—



	Min. Lux	Max. Lux
Velódromos (sobre pista)	150	200
Pelota vasca: Entrenamiento	150	—
Competición	300	—
Fútbol: Entrenamiento	70	100
Competición	150	300
Piscinas: Alumbrado de la piscina	100	—
Salas de duchas y vestuarios	70	—
Salas de armas, salas de boxeo	300	—
Rings de boxeo: Entrenamiento	300	500
Competición	1.500	3.000
Hipódromos	150	200
Picaderos	70	100
Hockey sobre hielo	200	—

2. Oficinas y Establecimientos públicos

Locales comunes a todas las categorías

Vestíbulos; habitaciones de paso: Iluminación general interior . .	150	500
--	-----	-----

Oficinas y administraciones:

Teneduría de libros, mecanografía, contabilidad, máquinas de calcular, ficheros y archivadores.	300	600
Oficinas privadas y trabajos generales de oficina distintos a los anteriores.	200	—
Salas de dibujo: Mesas	500	1.000
Alumbrado general	150	300
Oficinas de información, salas de recepción, salas de espera	150	500
Archivos	100	—

Establecimientos públicos:

Iglesias: Altares, santuarios, coros.	100	—
Naves	70	—
Dependencias	50	—
Bibliotecas: Estanterías (Alumbrado vertical).	100	200
Salas de libros	100	200
Salas de lectura	300	500
Mesas de lectura	100	—
Museos y Galerías: Alumbrado general interior	500	—
Vitrinas. Alumbrado especial	100	200
Sobre los cuadros	—	—

Establecimientos de enseñanza:

Salas de conferencias, anfiteatros, salas de reuniones	200	500
Gimnasios	150	300

	<i>Min. Lux</i>	<i>Rec. Lux</i>
Vestuarios, tocadores y lavabos	50	100
Salas de clase y laboratorios	200	500
Dibujo de arte, industrial y costura	500	700
(más alumbrado localizado)		
Bibliotecas y despachos (ver Administraciones y Establecimientos públicos)		
Salas de enseñanza manual (ver locales industriales)		
Pizarras	300	500

Hospitales y Clínicas:

Camas	100	—
Laboratorios (Patología e investigación)	300	500
Quirófanos	300	500
Mesas de operación	3.000	—
Habitaciones particulares y salas: Alumbrado general	50	—
Alumbrado de noche	10	—
Sobre la cama, examen y lectura	200	—
Salas de examen	300	500
Salas de recepción y de espera	100	—
Gabinetes dentales: Sillón	700	—
Salas de espera	100	—

3. Tiendas, Hoteles, Cafés y Restaurantes

Almacenes de grandes ciudades:

Alumbrado general	300	500
Sobre los mostradores	500	700
Presentaciones especiales y vitrinas interiores	1.000	—
Estantes de mercancías	100	—
Escaparates sobre calle comercial	2.000	5.000
Idem sobre calle no comercial	500	1.000

Almacenes de pequeñas localidades:

Alumbrado general	200	300
Sobre los mostradores	300	500
Escaparates	500	1.000

Hoteles - Cafés - Restaurantes:

Cocinas	100	200
Dormitorios: Alumbrado general	100	200
Camas y espejos	200	500
Comedores, salas de restaurantes, salas de café, salones de hotel, salones de té	100	300
Salas de correspondencia: Alumbrado general	100	—
Mesas de escribir: Alumbrado localizado	300	500

4. Locales industriales

	Min. Lux	Rec. Lux
1. LOCALES COMUNES A TODAS LAS CATEGORÍAS		
Alumbrado general de circulación	100	—
Instrumentos de medida y de control: Alumbrado sin deslumbramiento. Sobre el plano de lectura.	300	500
Entrada, pasillos, escaleras, pasos diversos	100	200
Oficinas de dibujo industrial: Alumbrado general	100	200
Sobre las mesas de dibujo	700	1.000
Depósitos.	50	200
Embalaje: Objetos pequeños	100	200
Objetos grandes.	100	150
2. INDUSTRIAS ALIMENTICIAS		
<i>Mataderos</i>		
Alumbrado general	100	—
Estancia de animales	50	—
Desolladeros	200	300
Despacho de carne	400	600
Frigoríficos: Cámara frigorífica	50	—
Salas de máquinas	150	200
<i>Conserverías de carne:</i>		
Lavado, escaldado, cabezas y patas	100	—
Depilación, comprobación del depilado	200	300
Cocción, mezclado, amasado	100	200
Trinchado, deshuesado, escogido	200	300
Preparación de pastas, llenado de latas	150	200
Engatillado, cerrado de cajas.	300	500
Esterilización	300	500
Preparación de jamones	200	300
<i>Conserverías de pescado:</i>		
Pesado, lavado, esterilización, almacenaje, colocación en latas	100	200
Secado, preparación.	200	300
Cocción	150	—
Puesta en latas, cerrado de las mismas	300	500
Tratamiento de sub-productos	150	200
<i>Conserverías de legumbres</i>		
Peso, desgranamiento	100	200
Escogido, sobre las cintas transportadoras	300	—
Cribas	150	—
Blanqueo.	150	—
Puesta en latas (ver conservas de carnes y pescado)		

	<i>Min. Lux</i>	<i>Rec. Lux</i>
<i>Fábricas de harina:</i>		
Almacenaje de granos: Depósitos, alumbrado general	70	100
Fosos	100	—
Molienda.	100	150
Ensacado.	150	200
Laboratorio.	300	500
<i>Panaderías industriales:</i>		
Almacenaje de harinas.	70	100
Amasado (sobre las artesas)	200	300
Formación de la « masa »	150	200
Cocción: a) delante de los hornos	300	—
b) alumbrado general	100	200
Hornos de pan, manutención de carbón y cenizas	70	100
<i>Fábricas de galletas:</i>		
Almacenaje.	70	100
Preparación de la pasta	200	300
Cocción:		
Barquillos: máquinas de dosificar, de cocer, de secar y rec.	200	300
Otras operaciones	100	200
Bizcochos secos: Alumbrado general.	100	150
Salida del horno	300	500
Empaquetado.	200	300
Almacenaje.	100	150
<i>Pastas alimenticias:</i>		
Almacenaje.	70	100
Fabricación de pastas, alumbrado general	150	200
Aparatos para mezclar, amasar e hilado.	200	300
Máquinas combinadas: lugar del amasado.	300	—
Secado.	100	150
Empaquetado: A máquina.	150	200
<i>Torrefacción de café:</i>		
Almacenaje.	70	100
Torrefacción	100	150
Empaquetado: Alumbrado general	70	100
Alumbrado localizado	200	300
Máquinas automáticas.	300	—
<i>Chocolaterías:</i>		
Preparación del chocolate en bruto: Alumbrado general	100	150
Escogido sobre las bandas	300	500
Preparación del cacao en polvo	100	150
Acondicionamiento: a) Chocolate y cacao en polvo.	150	200
b) Chocolates diversos: Alumbrado general	100	150
Alumbrado localizado	300	500

<i>Lecherías:</i>	<i>Min. Lux</i>	<i>Rec. Lux</i>
Muelle de desembarque	70	100
Locales de lavado de los recipientes.	200	300
Tratamiento de la leche. — Puesta en botellas	200	300
Distribución de los recipientes	100	150
Laboratorios	300	500
<i>Mantequerías:</i>		
Descremado (y Acondicionamiento)	150	200
Batido	200	300
Purificación.	150	200
Cámaras frigoríficas: Alumbrado general.	50	—
Sala de máquinas.	150	200
<i>Bodegas:</i>		
Muelle de embarque, bodegas	70	100
Indicador de nivel, sobre el plano de lectura	300	—
Sala de máquinas.	150	200
Recepción de botellas vacías	150	200
Limpieza de botellas	200	300
Llenado de botellas	200	300
Embalaje de botellas en las cajas.	100	150
<i>Cerveterías:</i>		
Preparación de la malta: Encima de las cubas.	70	100
Torrefacción, trituración	100	150
Ensacado.	100	150
Fabricación de la cerveza	200	300
Fermentación.	200	—
Tanque	70	100
Filtrado	150	200
Puestas en barril: Alrededor de las máquinas	100	150
Llenado	150	200
Llenado de botellas	200	300
Limpieza de botellas	200	300
Embalaje de las botellas en cajas.	100	150
<i>Azucareras:</i>		
Silos de la remolacha	70	—
Lavaderos	100	150
Corte de raíces	150	200
Preparación del azúcar: Alumbrado general	100	150
Turbinas de mezclado.	300	—
Almacenes de azúcar	70	100
Ensacado.	150	200
Calderas: Alumbrado particular. Manómetros. Niveles	300	500
Sala de máquinas.	200	300
Cuadros de distribución y laboratorios	300	500

	<i>Min. Lux</i>	<i>Rec. Lux</i>
<i>Refinerías:</i>		
Alumbrado general en todas las naves	100	—
Mezclado, sobre cada turbina	300	—
Aparato para cocer		especial
Clarificación		especial
Molienda sobre la máquina	150	200
Quebrantado	300	—
Empaquetado	200	300

Confiterías industriales:

Cocción: Alumbrado general	100	150
Por encima de los hornos	300	—
Preparación de la pasta	300	500
Fabricación de los bombones: Alumbrado general	150	200
Sobre las máquinas	300	—
Acondicionamiento: Alumbrado localizado	300	—
Almacenaje, calderas	70	100

3. IMPRENTA Y ARTES GRAFICAS

Tipografía y litografía

<input type="checkbox"/> Sección cajas:		
Alumbrado general	200	300
Sobre las cajas (pupitres de composición)	700	1.000
Sobre las máquinas de cortar lino y nivelar grabados.	700	1.000
Sobre la prensa de prueba.	200	300
Sobre el pupitre de correctores	500	700
Máquinas de composición mecánica:		
Sobre el teclado y composición.	300	500
<input type="checkbox"/> Sección de máquinas:		
Alumbrado general	200	300
Mesas de imposición	500	700
Mesas de arreglo	700	1.000
Mármoles para batir tintas.	700	1.000
Máquinas: sobre la entrada de las hojas	150	200
Sobre la salida de las hojas	300	500
Sobre el carro (alumbrado localizado).	300	500
Tinteros y cilindros	150	200
Guillotina	300	500

Fotograbado y Fotocromo:

Alumbrado general	200	300
Pupitres de retocadores	700	1.000
Prensa de pruebas	500	700
Mesa de montaje		especial
Mesa de insolación		especial

	<i>Min. Lux</i>	<i>Rec. Lux</i>
<i>Enenadernación:</i>		
Alumbrado general	150	200
Máquinas de plegar: sobre la entrada.	150	200
Sobre la salida	150	200
Máquinas de hacer tapas	200	300
Máquinas de coser	200	300
Mesas de alzado	150	200
Guillotinas y apisonadoras	300	500

4: VIDRIERÍAS

Plantas generales:

Composición: Alumbrado general	100	150
Alumbrado localizado sobre aparatos de pesar	200	300
Vestíbulos y salidas: alumbrado general	200	300
Hornos (ver locales comunes)		
Embalaje: Alumbrado general	100	150
Alumbrado localizado	200	300
Arcos y salidas	200	300

Vidrio plano:

Cristalería: Bruñido-pulido: Alumbrado general	100	150
Sobre la máquina.		especial
Apreciación y corte		especial

Cristal de ventana:

Máquina automática: Sobre el cajón	100	150
Apreciación y corte		especial

Vaciado mecánico del cristal:

Máquina automática		especial
Comprobación: Alumbrado general	200	300
Alumbrado localizado	500	700
Tallado fino, decoración, esmerilado y grabado, biselado	300	500
Tallado normal, pulimentado a rueda.	150	200
Plateado	200	300

5. INDUSTRIAS TEXTILES

Industrias del algodón

☐ Hilatura:

a) Almacenaje del algodón en bruto	70	100
b) Preparación: Mezcla	100	150
Vareado	100	150
Cardado	150	200
Estirado	150	200
Bancos de peinado	200	300
c) Hilado: Bastidor de hilar	300	500

	<i>Min. Lux</i>	<i>Rec. Lux</i>
<input type="checkbox"/> Tejeduría:		
a) Preparación: Bobinado	200	300
Urdidora; Plegador	300	—
Rastrillo	100	150
Apresto: Alumbrado general	100	150
Plegador de alimentación, peine plegador definitivo.	300	—
b) Montaje del bastidor:		
Pasado de hilos: Alumbrado general	100	150
(Recogida) Alumbrado localizado	1.000	—
Nudos automáticos: Alumbrado general	100	150
Alumbrado localizado	500	—
Trabajo sobre el bastidor	300	500
Examen de los tejidos (Alumbrado localizado)	700	1.000
Locales de almacenaje de los tejidos	100	150

Industria de la lana

Preparación de las fibras:

Escogido de la lana	300	500
Desengrase de la lana y lavado	100	150
Vareado	100	150
Cardado	200	300
Peinado	300	500

☐ Hilatura:

Bancos de estirado	150	200
Bastidores devanadores.	300	500
Bastidores de hilo continuo.	300	500
Preparación de la trama. — Canillaje.	300	500
Preparación de la cadena: Bobinado	300	500
Urdidora: Plegador	300	500
Rastrillo	200	300
Aprestos: Alumbrado general.	300	700
Comprobación a la salida de la máquina	300	700

☐ Tejeduría:

Bastidores de tejer: Alumbrado general	100	150
Alumbrado localizado	500	700
Desmontaje. Alumbrado localizado	700	1.000
Pespunteado	700	1.000

Industria de la seda natural

☐ Hilatura:

Escaldadura, vareado, trabajo de la seda (ver también alumbrado del algodón y lana).	150	200
Torcedura y apresto de la seda natural cruda	200	300

	<i>Min. Lux</i>	<i>Rec. Lux</i>
Tejeduría: Referirse a los valores dados por el algodón y la lana, con un aumento de un 50 % como mínimo, teniendo en cuenta que los hilos son mucho más finos		

Textiles artificiales

Producción de la materia a hilar (ciclo químico)	100	150
Excepto la sulfuración que necesita	200	300
Terminación de la materia a hilar (ciclo textil):		
Bastidor de hilar paralelo	150	200
Bastidor de hilar centrífugo	300	500
Retorcido	200	300
Blanqueo	100	150
Escogido de las fibras	300	—

Hilatura y tejeduría:

Referirse a operaciones similares, concernientes al algodón y a la lana, con un aumento de un 50 % como mínimo, teniendo en cuenta el hecho de que los hilos son frecuentemente muy finos.

Blanqueado - Tintura - Impresión - Aprestos

Blanqueado de los tejidos: Prueba del tinte y clorado	100	150
Examen	300	500
Torcedura de las madejas	100	150
Teñido: Máquinas	150	200
Muestrario y examen (alumbrado localizado)	500	700
Impresión	300	500
Comparación de los colores	700	1.000
Aprestos: Preparación	100	150
Examen a la entrada y a la salida de las máquinas	300	500
Mesas de comprobaciones finales-Doblado	300	500

Confección

Almacenes de recepción y control de los tejidos	300	500
Talleres de corte	300	500
Talleres de conjunto: Arreglo, preparación, etc.	300	500
Pespunteado; Alumbrado localizado	1.000	—
Prensa-de vapor	200	300
Control final	500	700
Almacenes de expedición	100	150

6. INDUSTRIAS QUÍMICAS .

Fábricas de productos químicos:

Alumbrado de circulación	100	200
Sobre niveles, manómetros, termómetros montados sobre aparatos:		
alumbrado especial sin dealumbramiento sobre el plano vertical	150	200
Sobre las mesas y pupitres	200	300
Sobre escaleras y pasarelas	100	200
Delante de los aparatos, tales como molinos y mezcladores	200	300

	<i>Min. Lux</i>	<i>Rec. Lux</i>
<i>Laboratorios, salas de ensayo y controles:</i>		
Alumbrado general	200	300
Sobre el plano de la mesa	300	—
Sobre aparatos de medida, tales como manómetros, termómetros, básculas, alumbrado especial sin deslumbramiento sobre el plano de lectura	300	500
<i>Caucho:</i>		
Molido, mezclado, triturado, fabricación de los neumáticos y tubos.	200	300
<i>Tabacos</i>		
Desmuestre	200	300
Picadura	150	200
Torrefacción	150	200
<i>Jabonerías:</i>		
Sala de los calderos, laminillas de jabón en polvo	150	200
<i>Almacenes, factorías, salas de embalaje:</i>		
Almacenado de grandes objetos.	70	100
Almacenado de piezas pequeñas	100	200
Embalaje, expedición	150	200
Acondicionamiento (en la industria farmacéutica).	200	300

7. INDUSTRIAS METALÚRGICAS.

Mecánica general

Almacenaje de materias primas (hilos, tubos, barras, etc.).	70	100
Puestos de control (según dimensiones de los detalles a verificar):		
Minúsculo	3.000	—
Muy fino	1.500	—
Fino.	1.000	—
Bastante fino	500	—
Mediano	300	—
Talleres de montaje: Piezas muy pequeñas	1.000	1.500
Piezas pequeñas.	500	1.000
Piezas medianas.	200	300
Piezas grandes	150	200
Almacenes de piezas desengrasadas y productos finos:		
Alumbrado.	150	200
Alumbrado localizado: Ventanillas, armarios, mesas, piezas pequeñas, lectura de pequeños caracteres	300	500
Trabajos de metales en hojas: Trabajo en el banco	200	300
Máquinas-herramientas y bancos:		
a) Alumbrado general	200	300
b) Alumbrado localizado: .		

	<i>Min. Lux</i>	<i>Rec. Lux</i>
Trabajos muy delicados en el banco o en la máquina, fabricación de herramientas e hileras, comprobación con el calibre, rectificación de piezas de precisión	1.000	1.500
Trabajo en pequeñas piezas en el banco o en la máquina, rectificación de piezas medianas y pequeñas, reglaje de máquinas automáticas	500	700
Trabajo de piezas medianas en el banco o en la máquina, rectificación de piezas grandes	300	500
Soldadura:		
Soldadura de trabajos muy finos (Electrónica)	500	700
Soldadura de trabajos finos (aparatos de radio)	300	500
Soldadura por contacto de piezas medianas	200	300
Soldadura por contacto de piezas grandes	150	200
Soldadura al soplete.	100	150
Tratamiento superficial de los metales:		
Tratamiento electrolítico, niquelado, cromado	150	200
Avivado (alumbrado especial)	200	300
Pulimentado ordinario.	150	200

Fundiciones:

Depósitos y almacenes	100	150
Almacén de arena:		
a) Manipulaciones manuales (transporte, tamizado, mezcla). .	100	150
b) Manipulaciones automáticas (transportadores, elevadores, separadores, molinos y tamices)	100	150
Talleres de modelado y cajas de machos:		
Fino.	200	300
Grueso.	100	150
Alumbrado localizado de formas profundas. Al. especial		
Placas modelos	200	300
Cubilote:		
Pesada de las cargas (alumbrado especial sin deslumbramiento sobre el plano de lectura)	150	200
Plataforma delante de horn., nave de colada en las cucharas . . .	100	150
Taller de moldeo:		
Alumbrado general	100	150
Alumbrado localizado en los moldes	500	700
Desmoldeo y desarenado.	100	150
Rebarbado	200	300

Forjas y fundiciones de acero:

Almacenaje del mineral y el carbón	100	150
Carga de altos hornos.		especial
Naves de colada	100	150
Naves de convertidores (2.ª colada).	100	150
Talleres de fabricación:		
Martillo-pilón, laminadores, etc.	100	150
Forjas		
Laminado y cizallado de piezas pequeñas, laminado en frío y trefilado	200	300

	<i>Min. Lux</i>	<i>Rec. Lux</i>
Laminado y cizallado de piezas grandes, limpieza y decapado.	100	150
Fosas de temple, laminado en caliente	70	100
Almacenaje de productos finos:		
Almacén de chapa	100	150
Electro-metalurgia (aluminio y sus aleaciones, molinos mezcladores, fabricación de electrodos, coladas)	100	150

Construcción de automóviles:

Carrocería:

a) Talleres de carpintería y ebanistería:		
Alumbrado general	200	300
Alumbrado localizado de las sierras de cinta y tornos	especial	
b) Chapistería:		
Alumbrado general de los talleres de embutición, soldadura y montaje	200	300
Alumbrado localizado de las prensas de embutir, interior de las carrocerías durante el montaje	especial	
Pintura:		
a) Preparación de las chapas, pintura a pistola, pulimentado a mano	300	500
b) Preparación, dosificación y mezcla de los colores	2.000	—
c) Cabina de pulverización (sobre el plano de pulverización).	700	1.000
Guarnecido:		
a) Talleres de los tapiceros (tejidos, almohadillas, etc.)	200	300
b) Nave de guarnecido de carrocerías:		
Alumbrado general	200	300
Alumbrado localizado en el interior de las carrocerías	especial	
Taller de cristalería	150	200
Pulido de pinturas, decoración, acabado.	300	500
Garaje de coches antes de la entrega	100	150

Construcciones aeronáuticas

Construcciones de los motores (ver Mecánica general).

☐ I. — *Construcción en madera:*

Taller de carpintería:		
Alumbrado general	200	300
Alumbrado localizado de las sierras de cinta y tornos	especial	
Taller de montaje de fuselaje:		
Alumbrado general	200	300
Mesa de control	300	500
Taller de montaje en cadena:		
Alumbrado general	200	300
Montaje en el interior de la carlinga	especial	
Trabajos sobre los planos	especial	
Taller de pintura	300	500
Chapas (tapacubos de hélices y cubiertas de motores)	200	300

	<i>Min. Lux</i>	<i>Rec. Lux</i>
□ II. — Construcciones metálicas		
Taller de chapistería	200	300
Taller de preparación de las piezas primarias de infraestructura . .	150	200
Taller de montaje de planos	200	300
Taller de montaje de fuselajes:		
Alumbrado general	200	300
Interior de los fuselajes		especial
Taller de montaje en cadena:		
Alumbrado general localizado según el eje longitudinal del avión y su perpendicular a plomo de los planos	200	300
Trabajo debajo de los planos		especial
<i>Calderería:</i>		
Soldadura autógena, remachado, transporte de los metales en hojas, martelado, etc. (ver Mecánica general, Forjas y Fábricas de acero)		
Naves de los hornos de recocido para piezas grandes:		
Alumbrado general	100	150
Alumbrado localizado de las formas profundas		especial
8. CENTRALES ELÉCTRICAS		
Aparatos auxiliares, disyunt., transformadores, salas de acumuladores	100	150
Generadores, máquinas de vapor, ventiladores, compresores	200	300
Cuadros de distribución y cuadros de aparatos:		
Sobre el plano de lectura	300	500
9. INDUSTRIAS DIVERSAS		
<i>Tenerías:</i>		
Acabado y ensambladura	150	200
Corte, relleno.	100	150
Limpieza, estirado y curtido	100	150
Cubas	100	150
Cámaras de secado	100	150
<i>Trabajo del cuero:</i>		
Cosido de los cueros oscuros, corte y ensamblado	300	500
Cosido de los cueros claros.	200	300
Surtido y comparación		especial
<i>Fábricas de calzados:</i>		
Cosido, inspección y escogido.	500	700
Corte, trabajos diversos en el banco y en la máquina	300	500
<i>Manufacturas del papel:</i>		
Corte terminación y recorte	200	300
Satinado	200	300
Varco y trituración	150	200

<i>Trabajo de la madera:</i>	<i>Min.</i>	<i>Rec.</i>
	<i>Lux</i>	<i>Lux</i>
Trabajo bastante fino en el banco y en la máquina		
<i>Manufacturas de cajas:</i>		
Cartonaje de lujo	200	300
Cartones ordinarios, cajas	100	150
<i>Manufacturas de tapices:</i>		
Tejido, dibujo	300	500
Colocación de los tapices sobre los telares, reparaciones	300	500
Costura y bordado	300	500
Impresión sobre los tapices	200	300
Acabado, cepillado, pasado al vapor, corte y transporte	100	150
<i>Alfarería y cerámica industrial:</i>		
Limpieza y cocción, coloración y barnizado, decoración y esmaltado, moldeo y prensa	150	200
Naves de filtros prensas, de trituración y hornos	100	150
<i>Hulleras:</i>		
Cintas de escogido	300	500
Mando de los mecanismos	100	150
Tolvas de carga y talleres de cribado y lavado	150	200
<i>Manufacturas de guantes:</i>		
Cortado, inspección, trabajos de punto, prensado muestrario, pespun- teado y guarnecido	300	500
<i>Sombrerería:</i>		
Trencillado, limpieza, tinte, terminación, borde, forma, planchado, alisado y tensado	300	500
<i>Lencería:</i>		
Trabajo a máquina:		
Pulido y acabado	300	500
Tonelería, encoladura, trabajo de finura media en la máquina y en el banco, barnizado y fabricación de modelos	200	300
Aserraduras	100	150
Ebanistería	200	300

	<i>Min. Lux</i>	<i>Rec. Lux</i>
5. Edificios agrícolas		
Hangares, bodegas, leñeras	50	—
Nave de preparación de los alimentos del ganado	100	—
Lavaderos	100	—
Lecherías y mantequerías (ver Industrias Alimenticias)	50	—
Cuadras: Circulación	100	—
Tráfico.	50	—
Caballerizas, porquerizas y majadas	50	—
Granjas, graneros, hangares para la recolección:		
Alumbrado general	50	—
Aventar	100	—
Garajes, cocheras para carros:		
Alumbrado general	50	—
Reparaciones	100	150
Gallineros y conejeras	50	—
6. Industria del transporte		
<i>Estación de ferrocarril:</i>		
Salas de espera	100	—
<i>Venta de billetes:</i>		
Alumbrado general	100	150
Sobre los casilleros, distribuidores y taquillas.	300	500
Salas de equipajes.	100	150
Andenes de viajeros	70	100
Depósitos de máquinas	50	70
<i>Garajes de automóviles:</i>		
Lavado, engrase, cuidado en general	100	150
Reparaciones	200	300
<i>Estaciones de servicio:</i>		
Pacios y accesos.	150	200
Surtidores	200	300
Lavado y reparaciones.	200	300
<i>Hangares de aviones:</i>		
Alumbrado general	200	300
Entretenimiento y reparaciones	300	500
<i>Muelles marítimos:</i>		
Viajeros	70	100
Mercancías	50	70

BIBLIOGRAFIA

1. CETTO Ana María, LA LUZ EN LA NATURALEZA. La Ciencia. Mexico 1981
1a. Edición.
2. CORTH Richard, HOFFMAN Roger A., DOES ARTIFICIAL LIGHT AFFECT
MAN'S HEALT? PROBABLY NOT. Lighting Design & Application /
November 1973.
3. ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, LIGHTING AND THE
HUMAN CONDITION. Epri Journal / December 1986.
4. FISCHER D., NIVELES DE ILUMINACION PARA INTERIORES
LABORALES. Revista Internacional de Luminotécnia 1981.
5. FRIER John P., HENDERSON A. J., STROBOSCOPIC EFFECT OF HIGH
INTENSITY DISCHARGE LAMP. Journal of IES / October 1973.

6. GIL del Rio, Emilio. OPTICA FISIOLÓGICA: REFRACCIÓN. Barcelona 1984.
Quinta Edición.
7. IES LIGHTING HANDBOOK. DICCIONARY OF LIGHTING
TERMINOLOGY. IES Lighting Handbook 1987 Reference Volume.
8. IES LIGHTING HANDBOOK. NONVISUAL EFFECTS OF RADIANT
ENERGY. IES Lighting Handbook 1984 Application Volume.
9. LEMAIGRE V. Jean, LUMINOTERAPIA APLICADA A TRANSTORNOS
ANIMICOS. ILR 1992.
10. LEWIS Alan L., LIGHT AFFECTS HEALTH. Lighting Design + Application
/ October 1987.
11. PRADA Edgar A., MANUAL DE ILUMINACION I y II. Schröder 1992.
12. RAMIREZ V. José, LUMINOTECNIA (Enciclopedia CEAC de Electricidad).
Ediciones CEAC S.A. España.
13. SMITH Richard D., LIGHT AND HEALTH - A Broad Overview. Lighting
Design + Application / February 1986.

14. TIPPENS Paul E., FISICA - Conceptos y Aplicaciones. McGraw-Hill Mexico
1985.

15. WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION. MANUAL DE
LUMINOTECNIA. New York S. F. 1984.